LES

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

Dans la Région des Alpes

MÉMOIRE

POUR SERVIR

A L'ETUDE DES FORCES HYDRAULIQUES

Dans le Département du Puy-de-Dôme

Par M. DE LA BROSSE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

---

Extrait des ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

GRENOBLE
ALEXANDRE GRATIER & JULES REY
Grande-Rue, 23, angle de la rue Jean-Jacques-Rousseau

1902

Prix : 4 francs.

LES

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

DANS LA RÉGION DES ALPES

LES

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

Dans la Région des Alpes

MÉMOIRE

POUR SERVIR

A L'ETUDE DES FORCES HYDRAULIQUES

Dans le Département du Puy-de-Dôme

Par René DE LA BROSSE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

---

Extrait des ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

GRENOBLE

ALEXANDRE GRATIER & JULES REY

Grande-Rue, 23, angle de la rue Jean-Jacques-Rousseau

—

1902

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 34

LES INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

Dans la Région des Alpes

MÉMOIRE

POUR SERVIR

A L'ÉTUDE DES FORCES HYDRAULIQUES

Dans le Département du Puy-de-Dôme

Par M. DE LA BROSSE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Dans sa séance du 5 janvier 1901 la Commission des chemins de fer du Conseil général du Puy-de-Dôme a résolu de faire, sur place, une étude des principales installations hydro-électriques de la région des Alpes, afin d'en tirer des conclusions utiles pour l'aménagement éventuel des forces hydrauliques du Département.

Depuis plusieurs années, en effet, le Conseil général se préoccupe de l'utilisation de ces forces naturelles. Le service des Ponts et Chaussées en a fait sur sa demande une évaluation sommaire, de laquelle il résulte que les forces disponibles et encore sans emploi

dépasseraient de beaucoup les besoins de la traction des tramways à l'étude, pourraient alimenter divers industries, servir à l'éclairage de nombreuses localités, etc...

Ces richesses n'ont pas été, jusqu'à ce jour, utilisées comme on eût pu le faire, mais on commence depuis quelque temps à se préoccuper du parti qu'il convient d'en tirer et des services qu'elles pourraient rendre.

C'est pour s'éclairer sur les différents modes d'utilisation des forces hydrauliques que la Commission des chemins de fer a pensé utile de se rendre sur certains points de la région des Alpes, où l'expérience est déjà faite, afin de juger des résultats.

Elle a invité les Chambres de Commerce du Département à lui adjoindre une délégation afin de s'entourer de capacités professionnelles et de recueillir plus de fruits de ce voyage.

La Chambre de Commerce de Clermont a répondu à son appel et s'est fait représenter par trois de ses Membres.

Ont accompagné la Commission, sur sa demande, M. le Professeur de physique à l'Université de Clermont et l'auteur de ce mémoire.

La Commission a visité les installations dont voici le tableau :

Nos D'ORDRE	COURS d'eau UTILISÉS	COMMUNES et DÉPARTEMENTS	NOMS des USINES	PROPRIÉTAIRES ou EXPLOITANTS	EMPLOIS DE L'ÉNERGIE
1	Le Rhône	Villeurbanne (*Rhône*)	Cusset (Jonage)	Société lyonnaise des forces motrices du Rhône	Eclairage et distribution de force motrice dans la ville de *Lyon*
2	id.	Genève	La Coulouvrenière	Ville de Genève	Distribution d'eau sous pression dans la ville et le canton de *Genève*.
3	id.	Vernier (*canton de Genève*)	Chèvres	id.	Eclairage et distribution de force motrice dans la ville et le canton de *Genève*. Electrochimie. Traction de tramways
4	id.	Genève	Station centrale	id.	Eclairage et traction de tramways.
5	Le Giffre	Micussy (*Hte-Savoie*)	Pont du Risse	Service électrochimique du Giffre	Electro-chimie. Fabrication de carbure de calcium.
6	L'Arve	Servoz (*Hte-Savoie*)	Servoz	Compagnie des chemins de fer P.L.M.	Traction électrique sur la ligne P.L.M. du *Fayet* à *Chamonix*

Nos D'ORDRE	COURS d'eau UTILISÉS	COMMUNES et DÉPARTEMENTS	NOMS des USINES	PROPRIÉTAIRES ou EXPLOITANTS	EMPLOIS DE L'ÉNERGIE
7	L'Arve	Passy (*Hte-Savoie*)	Chèdde	Société des forces motrices de l'Arve (CORBIN et C[ie])	Electro-chimie. Fabrication de chlorates alcalins et de carbure de calcium.
8	Le Bréda	Pontcharra-sur-Bréda (*Isère*)	Pontcharra	Société des forces motrices du Haut-Graisivaudan	Eclairage de *Chambéry*. Prochainement, force motrice.
9	Le Cernon	Chapareillan (*Isère*)	Cernon	id.	Eclairage. Précédemment, carbure de calcium.
10	Ruisseau de Lancey	Villard-Bonno (*Isère*)	Lancey	A. BERGÈS père et fils	Fabrication du papier. Blanchiment électrolytique. Eclairage. Traction de tramways.
11	La Romanche	Livet et Gavet (*Isère*)	Livet	Société électro-chimique de La Romanche	Emplois non encore définis.
12	id.	id.	Rioupéroux	Société des usines de Rioupéroux	Fabrication de papier. Prochainement, électro-chimie.
13	id.	id.	Les Clavaux	Société d'électro-chimie	Electro-chimie. Précédemment Soude caustique. Prochainement, Sodium et ses dérivés.
14	id.	Séchilienne (*Isère*)	Séchilienne	Compagnie française des carbures de calcium	Fabrication du carbure de calcium.
15	Le Drac	Avignonet (*Isère*)	Avignonet	Société Grenobloise de force et lumière	Distribution de force. Outillage des mines. Traction de tramways. Transport à grande distance (100 kilomètres).
16	id.	Champ (*Isère*)	Champ	Société hydro-électrique de Fure et Morge	Transport à 45 km. et distribution à divers industriels de Fure, Rives, Voiron, etc. Moulinage, Soieries, papeteries, tuileries, scieries, etc.

Le temps restreint dont disposait la Commission ne lui a pas permis de voir les usines de la Maurienne (Savoie) où est aujourd'hui le siège principal de l'électro-métallurgie française et notamment de la fabrication de l'aluminium.

Ces installations présentent toutes un grand intérêt; elles se différencient par la diversité de leurs caractères et ce n'est pas ce qui a le moins frappé la Commission que de constater la variété des moyens mis en œuvre pour l'aménagement des chutes; on peut dire qu'aucune usine n'applique tout à fait les mêmes moyens que ses voisines et que chacune a son originalité propre : là, le volume dérivé est énorme et les moteurs à grand débit, ici, c'est la hauteur de chute qui s'accroît et les moteurs augmentent de

vitesse, sur ce point, la dérivation est souterraine, là, c'est un canal découvert, ici, la conduite sous pression est inclinée à flanc de côteau, là, en forme de puits vertical, ailleurs, en plein lit de rivière, autant de cas autant de solutions différentes marquées chacune par des caractères éminemment pratiques.

La Commission n'a pas été moins frappée de la grande diversité des applications : éclairage, traction, électro-chimie, distribution de forces. Certaines usines se spécialisent sur une de ces destinations ; la plupart, avec raison, en admettent plusieurs, quelques-unes les présentent toutes et l'on peut voir à Lancey, par exemple, sur un ruisseau fort modeste, toute la série des emplois de l'énergie, depuis l'éclairage public d'une importante vallée jusqu'à la traction d'un véritable chemin de fer, en passant par le blanchiment électrolytique des pâtes de bois et la mise en mouvement des innombrables organes mécaniques d'une grande usine à papier.

La tendance générale est de multiplier les emplois de la force dont on dispose sur un point et la prospérité des installations semble varier en raison de la multiplicité de ces emplois. Telle usine, exclusivement consacrée à une seule fabrication, se soutient péniblement contre la concurence de ses rivales, tandis que telle autre, où l'on a su varier les produits, apparaît avec les signes d'une incontestable prospérité.

C'est, en effet, l'un des caractères les plus remarquables des applications de l'électricité que l'on puisse facilement grouper près d'une même source d'énergie des industries variées comme en transporter au loin avec de faibles pertes une fraction considérable.

Dans la première catégorie, se range la série des produits chimiques depuis la fabrication électrolytique de l'aluminium, des carbures, chlorates, métaux alcalins, etc., jusqu'à celle des parfums dont ont peut voir une usine établie à côté du barrage de Chèvres. Dans la seconde catégorie, l'on range les destributions à grandes distances dont on prépare une application générale sur le Drac, entre Avignonet et Bourgoin (**100 kilomètres**).

D'autre part, il est difficile de ne pas être frappé par la hardiesse de certaines entreprises : on n'hésite pas à risquer d'énormes

capitaux pour aménager une force de 6.000, 8.000 ou 10.000 chevaux, avant même de savoir au juste à quoi on l'emploiera, bien persuadé, semble-t-on, qu'une fois la force créée, les emplois viendront d'eux-mêmes et seront vite rémunérateurs. Et l'expérience vient plutôt encourager ces prévisions ; la Société Grenobloise de force et lumière a entrepris le barrage du Drac avant d'avoir trouvé le placement de l'énergie qu'elle va y recueillir, mais, pendant l'exécution des travaux, elle a passé divers contrats qui lui assurent déjà d'importants débouchés et il est sûr que tout sera placé avant peu.

Enfin, le visiteur est non moins frappé de ce fait, à première vue paradoxal, qu'avec une puissance déterminée, les grands producteurs de force n'hésitent pas à s'engager pour un total bien supérieur pouvant atteindre et dépasser **le double** de leur puissance effective réelle. Ainsi, telle usine qui dispose au maximum de 10.000 chevaux, lie des marchés pour 20.000 ou 25.000, sans que personne ne songe à l'accuser d'imprudence. Cela tient à ce que, elle s'adresse à des catégories de clients dont les besoins ne coïncident point : la demande maximum de lumière se produit à certaines heures où d'autres demandes sont en baisse, l'éctro-chimie se place au moment où la traction consomme moins et ainsi de suite, si bien que les 10.000 chevaux de l'usine peuvent facilement servir un ensemble de besoins dont les maxima, s'ils coïncidaient, absorberaient 15.000, 20.000 ou 25.000 chevaux. C'est là un des avantages les plus appréciables de la forme électrique de l'énergie.

Ainsi, grande variété des solutions, variété non moins grande des applications, hardiesse des entreprises, enfin satisfaction d'un ensemble de besoins supérieur à la puissance produite, tels sont les quatre caractères qui marquent si profondément de leur empreinte les installations hydro-électriques des Alpes et qui ont, au plus haut point, frappé les visiteurs. Ces caractères vont d'ailleurs apparaître dans l'étude rapide que nous allons faire de ces diverses installations.

Avant de l'aborder, nous devons prévenir que, malgré les nombreux points de contact que cette étude présente avec celle de la

traction et des distributions d'électricité en général, nous avons surtout en vue d'abord les dispositions des ouvrages hydrauliques et seulement ensuite la transformation de l'énergie en électricité.

Le voyage de la Commission n'a guère porté que sur ces deux points, on ne trouvera donc que très accessoirement dans ces pages quelques notes sur la traction, leur objet presque exclusif étant l'aménagement des chutes d'eau.

I. — Dérivation du Rhône, à Jonage.

La première grande usine productrice d'énergie que la Commission a visitée est celle de **Cusset**, sur la commune de Villeurbanne, d'où part la distribution de lumière et d'énergie de la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône, dans la ville de Lyon et sa banlieue.

Cette entreprise est généralement connue sous le nom de «**Jonage**», localité voisine de la prise d'eau. Elle met, ou va mettre, à la disposition de la grande cité lyonnaise un ensemble de 15.000 à 20.000 chevaux. En voici les données principales;

Longueur de la dérivation { Canal de fuite : 3 kil. 100 mètres. / Canal d'amenée : 15 kil. 775 mètres.
Largeur du canal (au fond) : 100 mètres.
Hauteur de chute variable, de $8^m,50$ à 12 mètres.

	EN BASSES EAUX (343 jours par an et 19 heures par jour)	EN HAUTES EAUX (22 jours par an et 24 heures par jour)
PUISSANCE DISPONIBLE :		
Brute	**16.000** chevaux avec un supplément de **10.400** chevaux pendant 4 ou 9 heures suivant l'état du Rhône.	**22.000** chevaux.
Nette . . . . Sur l'arbre des turbines (rendant 75 0/0).	**12.100** chevaux avec un supplément de **7.800** chevaux pendant 4 ou 9 heures par jour.	**16.500** chevaux.

On remarquera que les puissance disponibles dépassent le produit du débit par la hauteur de chute qui serait seulement :

$$\text{En basses eaux } \frac{100.000 \text{ litres} \times 12 \text{ m.}}{100} = 12.000 \text{ chevaux.}$$

$$\text{Et en hautes eaux } \frac{150.000 \text{ litres} \times 8^{m},50}{100} = 12.750 \text{ chevaux}$$

On dispose en réalité d'une force notablement supérieure : 16.000 à 20.000 chevaux *nets*. Cela tient à ce qu'il existe vers le milieu du canal d'amenée un réservoir compensateur de 160 hectares où s'accumulent les eaux surabondantes de façon à faire face aux besoins pour les heures où la consommation est maximum.

L'usine est placée en travers du canal sur des piliers qui séparent les chambres des turbines. Celles-ci, au nombre de dix-neuf, occupent l'étage d'en bas sur lequel s'élève le bâtiment des machines (ou usine proprement dite) formé d'un grand hall de 12 mètres de largeur sur 145 mètres de longueur.

Les trois chambres du milieu sont réservées aux turbines des excitatrices (250 chevaux par unité), les seize autres aux turbines des dynamos génératrices (1.250 chevaux).

Leur construction présente d'intéressants détails dont la description complète ne saurait trouver place dans cette courte notice mais que l'on trouve dans diverses publications.

Les turbines sont suspendues par leurs axes verticaux sur un bain d'huile sous pression qui en équilibre le poids. Elles ont trois (*) couronnes d'aubes en appareil tronconique commandées par des vannages cylindriques équilibrés.

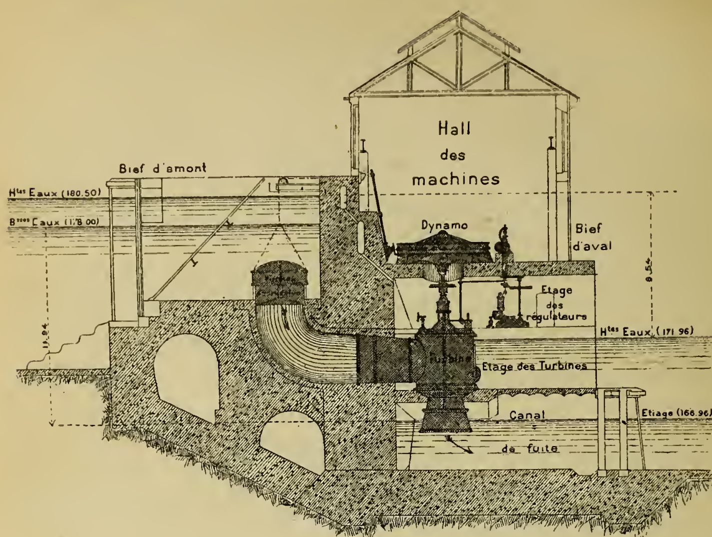
La régulation s'opère avec précision par le moyen de servomoteurs à pression d'huile. Le mouvement est réglé à la vitesse de 120 tours par minute.

Le croquis suivant donne une coupe par l'axe d'un moteur.

Sur l'arbre vertical de la turbine est montée la dynamo correspondante. C'est un alternateur à induit fixe donnant directement

(*) Deux couronnes seulement pour les petits moteurs des excitatrices. — Toutes les turbines sortent des ateliers Escher Wyss, de Zurich.

du courant triphasé (50 périodes) sous une tension de 3.500 volt. Le courant permet de desservir indistinctement des moteurs ou des lampes après abaissement à 110 volts.



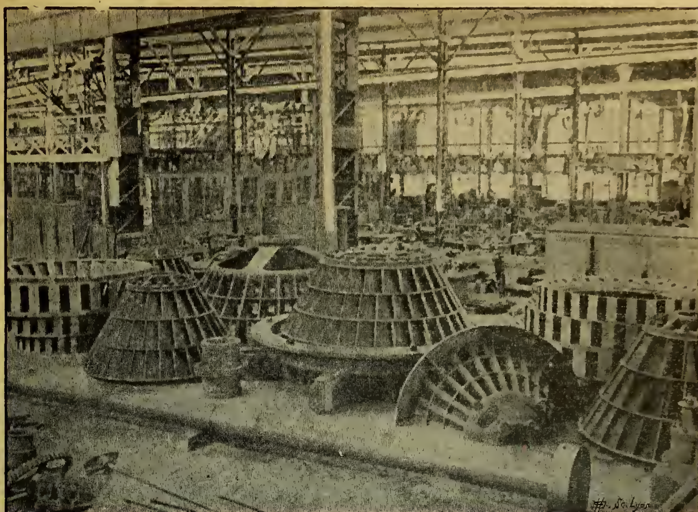
Un tableau général réunit tous les appareils de mesure et l'usine n'exige qu'un personnel très restreint.

La dérivation du Rhône, à Jonage, a été déclarée d'utilité publique par une loi du 9 juillet 1892 ; c'est la seule entreprise de cette nature qui existe encore en France avec concession temporaire, mais le nombre ne saurait tarder à s'en accroître.

Les travaux commencés en 1894, ont été terminés en 1898. Toutefois, on complète en ce moment les ouvrages de la prise d'eau.

Les difficultés d'exécution étaient considérables et il a fallu, pour les vaincre, une persévérance qui fait le plus grand honneur à M. Raclet, le promoteur du projet, et aux Ingénieurs qui ont dirigé cette vaste entreprise. Les terrassements ont porté sur 5 millions de mètres cubes, les maçonneries sur 400.000; on a employé 2.300 tonnes de fers, fontes ou aciers et 2 millions de journées avec un

outillage de 60 kilomètres de voies ferrées, 26 locomotives, plus de 500 wagons, 7 excavateurs, etc., etc..,



Turbine de Jonage en construction dans les Ateliers de Zurich.

Les dépenses faites atteignent 40 millions de francs, savoir :

Frais de premier établissement . . .	5.465.000 fr.
Canal de dérivation	22.015.000 —
Installation électrique	9.102.000 —
Matériel et mobilier	237.000 —
Emissions et divers	551.000 —
Profits et pertes	590.000 —
Actif net réalisable (1900)	2.040.000 —
Total	40.000.000 fr.

Ce chiffre vient d'être porté à 50 millions par une émission supplémentaire récente et telle est la confiance des premiers souscripteurs dans le succès final qu'ils n'ont pas hésité à souscrire la totalité du capital supplémentaire.

Il y aura finalement à rémunérer un capital de **50 millons** de francs dont la moitié en obligations.

Malgré l'énormité de ce chiffre, l'affaire, dont les débuts ont longtemps excité des inquiétudes, paraît aujourd'hui appelée à un

avenir satisfaisant. La Société lyonnaise des forces motrices du Rhône dessert déjà plus de 100.000 lampes et distribue 7000 chevaux de force motrice. Chaque mois le nombre de ses abonnés augmente suivant une progression rapide (*) et, quoique cette année soit seulement la troisième de l'exploitation, il semble certain que les recettes s'élèveront pour l'exercice en cours à 2.000.000 ou 2.500.000 francs. Or, l'une des grandes supériorités des distributions électriques est de n'exiger que des dépenses d'exploitation



Vue extérieure de l'Usine de Cusset (Jonage).

relativement minimes (1/4 ou 1/5 des recettes au maximum); il est donc permis d'espérer pour cette année 2 millions de recettes nettes (4 % du capital engagé) et il n'est guère douteux que l'avenir ne réserve à cette entreprise un très beau rendement.

L'énergie est livrée aux abonnés sous diverses formes, mais, avant de parler des conditions des abonnements, il y a lieu de signaler que dans l'origine, l'entreprise de Jonage devait distri-

	1900	1901		
(*) Recettes du 1er janvier au 30 avril.	442.720 »	736.705 »	Recettes des années	1898 : 170.350 fr. 1899 : 566.370 1900 : 1.490.450

buer seulement de la force motrice et non de la lumière. Le cahier des charges de la concession, approuvé par la loi du 9 juillet 1892 prévoit un tarif maximum par échelle décroissante de 720 francs le cheval-an, pour des forces inférieures ou égales à 1/10 de cheval, jusqu'à 250 francs pour les forces de 50 chevaux et au-dessus. La moyenne est de $\frac{720 \times 250}{2} = 485$, soit près de 500 francs le cheval-an.

Ces chiffres sont élevés, néanmoins les avantages des moteurs électriques sont si considérables que le nombre s'en développe de plus en plus.

Il est vrai que la Société des Forces motrices du Rhône a senti la nécessité de donner des trarifs plus élastiques; elle a fait homologuer un système de livraison de l'énergie au compteur qui permet à l'abonné de se servir du courant quand et comme il le veut, en payant seulement ce qu'il consomme, depuis :

21 centimes le cheval-heure pour des forces de 1/10 de cheval jusqu'à 7 centimes le cheval-heure pour des forces de 50 chevaux.

En outre, elle a fait approuver, pour développer les industries textiles à domicile, un tarif à forfait de 75 francs par an et par métier.

Le cahier des charges de 1892 interdisait la livraison de l'énergie pour l'éclairage sans une autorisation préalable par décret. La Société a obtenu cette autorisation ; de plus, elle vient de s'entendre sur diverses questions litigieuses avec les Compagnies du gaz et elle livre aujourd'hui le courant pour la lumière à raison de 6 1/2 centimes, 6 centimes et 5 1/2 centimes l'hectowatt-heure suivant les catégories. Les 100.000 lampes qu'elle alimente prouvent à quel point le public lyonnais apprécie ces conditions.

Tels sont les points saillants de la distribution de Jonage.

On ne saurait trop faire ressortir la grandeur d'une telle entreprise dont les débuts ont donné lieu à de vives critiques. Le public à longtemps douté de la réussite, l'énormité des dépenses inquiétait les plus confiants et l'on se demandait si les auteurs d'un aussi vaste projet parviendraient à leurs fins.

Il fallait dériver un fleuve entier sur **18 kilomètres**, rendre

étanche un fond de gravier perméable où les eaux se perdaient par infiltrations souterraines, trouver le placement de la force dans une ville où les charbons arrivent facilement par les voies ferrées et les voies fluviales des bassins de Saône-et-Loire et de Saint-Etienne, lutter contre la concurrence du gaz dont le prix est descendu jusqu'à 20 centimes au mètre cube, etc... Malgré des conditions en apparence si difficiles, l'œuvre est terminée, la force est créée et un vaste marché s'ouvre à elle, son réseau de distribution dépasse déjà 330 kilomètres !

Nous ne pouvons que constater ces heureux résultats qui sont la juste récompense d'efforts bien méritoires et d'une persévérance dont on trouve ailleurs peu d'exemples en exprimant, avec nos remerciements pour le gracieux accueil de MM. Henry, président du Conseil d'administration, Raclet, administrateur délégué et Henrard ingénieur en chef, l'espoir qu'un succès complet et définitif couronnera cette grande entreprise.

II. — **Services industriels de la Ville de Genève.**

Grâce à l'obligeance de M. l'ingénieur Butticaz, directeur général des Services industriels de la Ville de Genève, nous avons pu visiter l'usine élévatoire de la Coulouvrenière, la Station centrale d'électricité et l'usine de Chèvres qui distribue dans la Cité et dans tout le canton de Genève l'énergie électrique empruntée à la pente du Rhône en aval de la jonction de l'Arve.

Usine de la Coulouvrenière. — L'usine de la Coulouvrenière présente, au point de vue spécial qui nous occupe, un intérêt plutôt historique, elle marque une étape dans la série des procédés industriels pour la transformation de l'énergie et elle offrira sans doute, dans l'ordre chronologique, l'un des derniers exemples d'une distribution de force parfaitement combinée et très heureusement réalisée avec un agent autre que l'électricité. C'est, en effet, l'eau sous pression qui est là le véhicule de l'énergie.

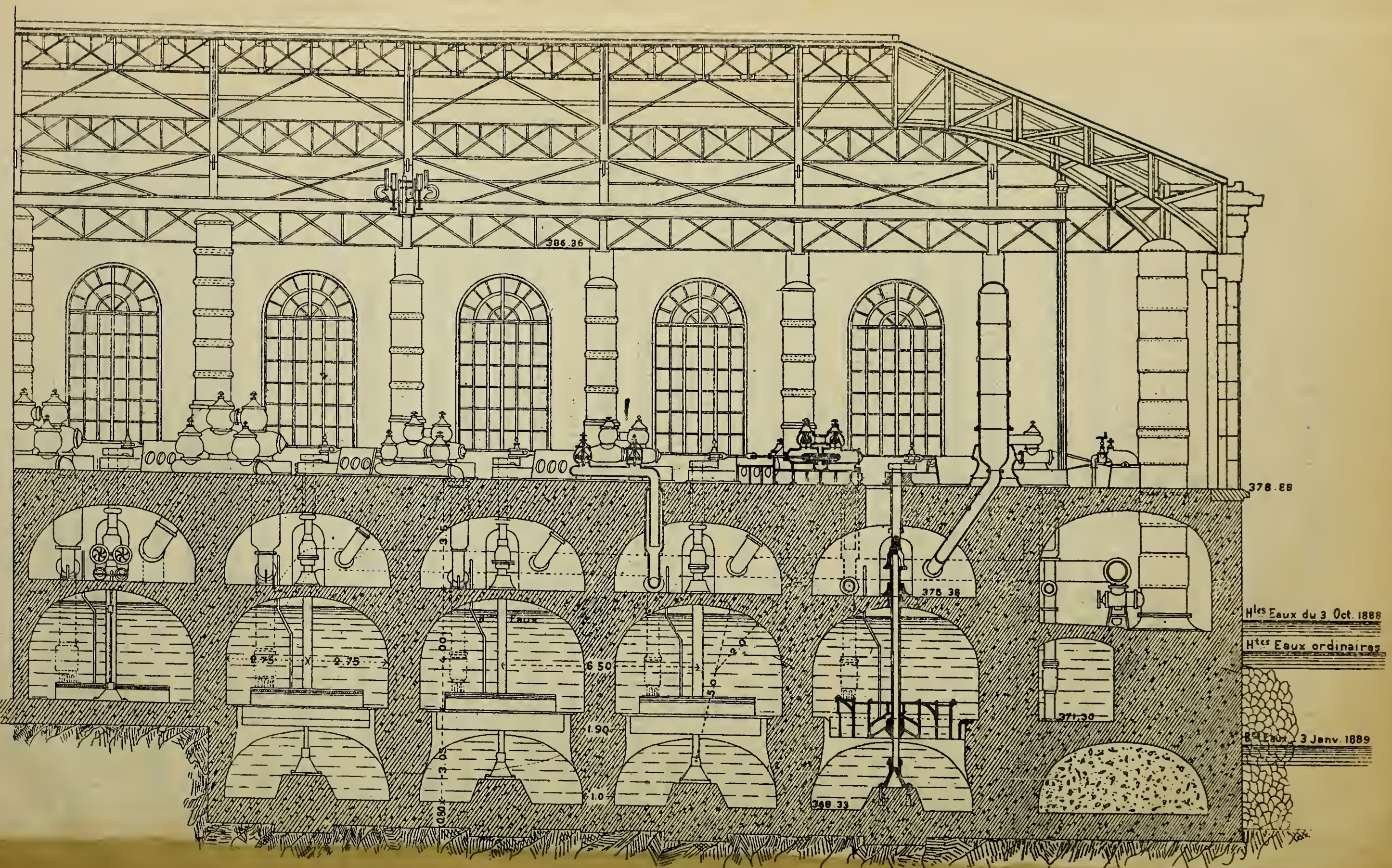
L'histoire des circonstances qui ont déterminé la municipalité de Genève à créer, vers 1883, cette intéressante distribution ne saurait trouver place ici. Nous dirons seulement que la ville a dû pendant le cours du XIXe siècle modifier et augmenter à plusieurs reprises sa distribution d'eau (*). Déjà, au siècle précédent, un architecte français, Abeille, avait installé une machine élévatoire qui, avec diverses additions, suffit pendant longtemps aux besoins restreints de l'époque.

Un autre de nos compatriotes, l'ingénieur Cordier, fut appelé en 1838 à créer une nouvelle et plus puissante machine élévatoire avec roues Poncelet et pompes foulantes, qui suffit jusque vers 1862. A cette époque (1868), M. Callon, professeur à l'Ecole Centrale de Paris, fit agréer l'établissement d'une turbine Girard, capable d'élever 4,000 litres par minute à 50 mètres de hauteur. L'installation retardée par divers accidents et par la guerre de 1870 ne put fonctionner qu'en 1872 et dura jusqu'en 1886 où fut créée l'organisation actuelle. Nous voyons avec plaisir nos compatriotes appelés pendant cette longue période à l'honneur de doter la Ville des appareils hydrauliques qui lui manquaient. Mais son développement rapide exigea bientôt des moyens plus puissants, car les anciens ne donnaient guère que 12.000 litres à la minute ; dès 1880, la maison Escher Wyss et Cie, de Zurich, avait été appelée à installer deux machines de secours (à vapeur) d'environ 300 chevaux, mais la demande de force croissant toujours, il fallut bientôt modifier complètement les procédés de distribution. A quoi faut-il attribuer ce rapide essor de la consommation en eau et surtout en eau *motrice*, dans une ville d'importance relativement secondaire ? A un ensemble de circonstances qu'il y a lieu d'indiquer au moins sommairement :

D'une part, la Ville de Genève a pris, depuis 1870, un développement considérable qui a entraîné, comme partout, une consommation croissante en eaux ménagères et en eaux de voirie.

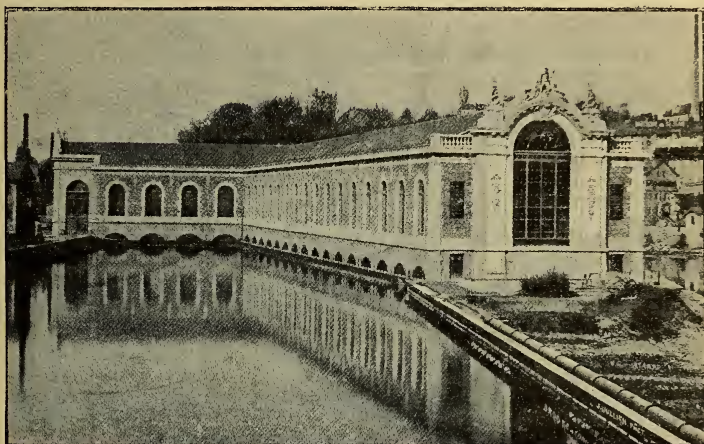
D'autre part, M. l'ingénieur Turrettini, dont le nom est lié à tous

(*) Ces renseignements sont développés dans l'intéressant ouvrage publié à Genève (1890), sous le titre : *Utilisation des forces motrices du Rhône et Régularisation du lac Léman,* par les soins du Conseil administratif.



USINE DE LA COULOUVRENIÈRE

les progrès accomplis dans la région (*), avait fait établir, en 1871, chez un industriel de la ville, à titre d'essai, pour le compte d'une Société de construction d'instruments de physique, un moteur hydraulique à colonne d'eau et cylindre oscillant. Cet essai fut couronné de succès, le nombre des moteurs s'accrut rapidement et la vente d'eau sous pression devint bientôt pour la Ville la source de recettes considérables (**), si bien qu'il fallut, dès 1883, étudier le programme d'une distribution qui devait promptement déborder hors de la ville et s'étendre à 25 communes.



Vue extérieure de l'Usine de la Coulouvrenière.

Ce programme a été réalisé avec prudence, en plusieurs périodes de 1883 à 1890, il n'a pas coûté moins de **10 millions de francs.** Il comprend deux réseaux distincts à basse et à haute pression (40 et 140 mètres) d'un développement total d'environ *240 kilomètres* et distribuant ensemble *3,000 chevaux* ; ils partent de l'usine dite « de la Coulouvrenière », établie sur le bras gauche du Rhône, pourvue de vingt turbines centripètes à axe vertical

(*) M. Turrettini est l'auteur de l'avant-projet d'utilisation des chutes du Niagara. Il n'est pas moins connu et apprécié à l'étranger que dans son propre pays.

(**) Le premier moteur d'essai date de 1871. En 1875, on en comptait 62 avec une consommation de 543.000 mètres cubes, procurant à la ville 27.000 francs ; en 1880, on avait 110 moteurs consommant 960.000 mètres cubes et 48.000 francs de recettes. En 1899, on comptait plus de 300 abonnés aux eaux motrices, consommant 16.000.000 mètres cubes, donnant plus de 400.000 francs de recette.

de 210 chevaux actionnant chacune deux groupes de pompes horizontales aspirantes et foulantes dont les conduites de refoulement sont munies de grands régulateurs à air qui maintiennent une pression constante.

Il n'entre pas dans le cadre restreint de cette étude de donner une description détaillée de cette usine qui [nous intéresse seulement par l'exemple qu'elle offre d'une solution rare et originale du problème de la distribution de l'énergie par l'eau sous pression. Nous dirons seulement que le prix moyen du mètre cube d'eau vendue pour force motrice varie entre 2 cent. 6 et 4 cent. 5, et que le produit annuel a suivi une marche ascendante rapide ainsi que la recette moyenne par compteur qui est aujourd'hui voisine de 1.300 francs.

Avant de terminer ce court exposé de la distribution d'eau sous pression de la Ville de Genève, il ne sera pas sans intérêt de remarquer que, si les besoins qu'elle a satisfaits s'étaient manifestés seulement quelques années plus tard, la solution eût été sans doute entièrement différente. En 1883, l'emploi de l'électricité commençait à peine sous forme d'essais encore timides : les expériences de transport de force les plus célèbres n'avaient pas encore eu lieu (*) et les plus audacieux n'osaient point prédire ce que nous avons vu réaliser depuis.

Dans son rapport à l'appui du projet (**), M. Turrettini passe en revue les différents modes de transport connus à cette époque (1883), il cite le système des câbles télo-dynamiques appliqué à Bellegarde, Schaffouse, Fribourg, Zurich, et qui a joui de quelques années de faveur, le système de l'air comprimé employé au percement des grands tunnels du Mont-Cenis et du Saint-Gothard, mais dont le rendement médiocre (moins de 50 %), n'a point permis la généralisation, enfin, il explique que les transmissions électriques ne donnent pas encore (en 1883) de solution pratique

(*) C'est seulement en 1885 que M. Marcel Deprez fit l'expérience du transport de force de Vizille à Grenoble, en 1886, celui de Creil à Paris (La Chapelle), par courants continus. Et c'est en 1891 qu'eût lieu entre Lauffen et Francfort la célèbre expérience du transport de force à 175 kilomètres par courants triphasés, qui a révélé les ressources inattendues de ce mode de tramsmission de l'énergie.

(**) *Op. cit.*

et industrielle ; il est vrai qu'il envisage seulement les courants continus et les tensions de 500 volts, on était loin des courants polyphasés à 10.000, 20.000 et 25.000 volts d'aujourd'hui ! Mais le moment n'est pas éloigné, dit-il, « *où l'on pourra appliquer avec » avantage ce mode de transmission dans notre ville* ». En attendant, et comme il fallait aboutir de suite, il conclut en faveur de l'eau sous pression ; c'est ainsi que la Ville de Genève s'est trouvée conduite par une solution parfaitement rationnelle pour l'époque, mais qui ne le serait plus au même degré maintenant, à distribuer l'énergie par l'eau sous pression. Cette solution si intéressante marque, on peut dire, la fin d'une époque. « *Si les » études étaient maintenant à faire, écrivait en 1890 le Conseil » administratif de Genève, quelques modifications seraient sans » doute apportées au plan d'ensemble ; entre autres, la distribution » de la force par l'électricité aurait marché de pair avec la trans- » mission hydraulique. Rien, du reste, n'empêche la transmission » électrique pour utiliser la force d'un certain nombre de turbines » restant à mettre en place. L'étude est prête et l'exécution pro- » chaine.* »

Quand le Conseil administratif écrivait ces lignes, dit M. Turrettini (*), il ne se doutait pas « *que les faits répondraient plus vite » encore qu'il ne le pensait à ses espérances ; il ne se doutait pas » que deux ans plus tard, il se trouverait dans le cas de demander à » l'Etat de Genève la concession d'une seconde chute* (**) *donnant » une force plus que triple de la première et que moins de dix ans » après, en face de l'absorption par l'industrie et les services pu- » blics de cette seconde usine, il serait appelé à solliciter la conces- » sion d'une troisième chute* (***) *plus puissante encore que la » seconde* ».

C'est qu'en effet, comme nous le disons plus haut, l'usine de la Coulouvrenière marque la fin d'une époque. L'ère de l'électricité allait s'ouvrir.

(*) Usine de Chèvres-Notice historique et description par M. Th. Turrettini, Genève-1900-Préface.

(**) Celle de Chèvres.

(***) Troisième chute projetée en aval de Chèvres, près de la frontière française.

Usine de Chèvres. — L'usine de Chèvres a été créée de 1893 à 1898 pour satisfaire à la demande croissante d'énergie.

Comme à la Coulouvrenière, la force motrice a été demandée à la pente du Rhône, mais l'agent de distribution, au lieu d'être l'eau sous pression, est le courant électrique.

Antérieurement, diverses personnes avaient déjà envisagé le parti que l'on pourrait tirer du fleuve à pente rapide et à puissant débit auquel le lac Léman forme un si admirable régulateur. Dès 1882, M. Merle d'Aubigné, Directeur des services de la ville de Genève, avait songé à une dérivation souterraine de 1.300 mètres, capable de débiter 20 mètres cubes par seconde à l'étiage. La maison Escher, Wyss et Cie avait songé à un barrage réalisant 4 mètres de chute et donnant 5.600 chevaux, mais le moment n'était pas encore venu où l'électricité allait apporter une solution si générale au problème des transports de l'énergie. C'est seulement en 1892 que le mouvement se dessina d'une façon décisive. On était alors en possession des expériences de Creil, de Vizille et de Francfort (*), on commençait le canal de Jonage, de toutes parts les exemples se multipliaient.

La Ville de Genève ne pouvait hésiter en présence de ces démonstrations et le Conseil municipal adoptait, en mai 1892, un projet de travaux pour aménagement d'une force de 12.000 chevaux sur le Rhône, en aval du confluent de l'Arve.

Une loi du 2 novembre 1892 autorisa la Ville à établir, pour cela, dans le lit du fleuve, un barrage, une usine avec turbines et les bâtiments nécessaires à l'aménagement et à la transmission de la force « *par un système à fixer ultérieurement* ». On remarquera cette dernière phrase qui ne préjuge pas du mode de transmission

(*) Dès 1873, M. H. Fontaine avait montré à l'Exposition de Vienne la possibilité des transports à distance. Plus tard, de 1883 à 1886, M. Marcel Deprez renouvela sous diverses formes cette démonstration à Miesbach au Bourget (17 kilomètres), à Vizille (14 kilomètres), enfin à Creil (56 kilomètres), mais les rendements n'atteignaient que 40 à 45 0/0 au maximum.

En 1891, l'application des courants triphasés à une ligne de 175 kilomètres, entre Lauffen et Francfort-sur-le-Mein, permit pour la première fois d'obtenir un rendement de 60 à 75 0/0 sur une puissance de 300 chevaux.

C'est de cette expérience que date véritablement l'essor si remarquable des transports industriels à grandes distances.

de l'énergie et laisse la question en suspens ; nous verrons bientôt comment elle a été résolue.

On trouve, dans cette loi du 2 novembre 1892, plusieurs points particulièrement intéressants. Nous signalerons notamment ceux qui suivent :

1° L'autorisation est donnée par l'Etat à la Ville de Genève, sous forme de concession de 99 ans (le terme en est fixé au 3 novembre 1991) ;

2° La Ville, concessionnaire, est tenue de restituer aux usiniers riverains du Rhône la force dont ils disposaient antérieurement ;

3° L'Etat se réserve une part des bénéfices après déduction de 6 % pour l'intérêt et l'amortissement des dépenses de premier établissement.

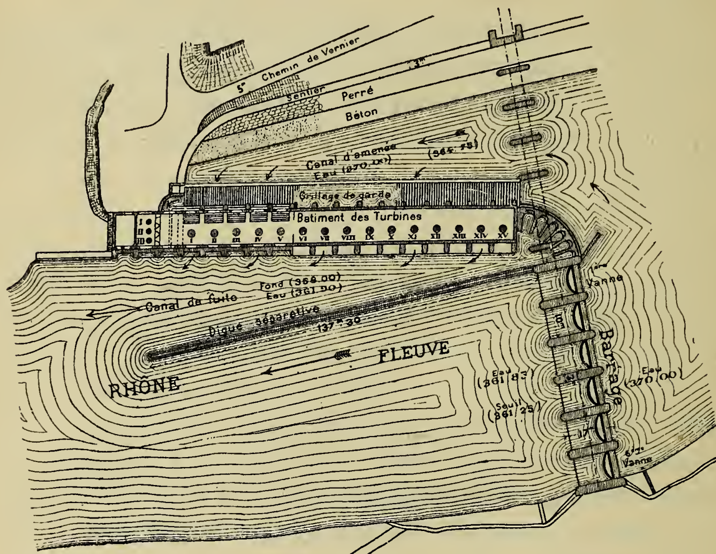
Il s'agit donc d'une concession à longue échéance (*), il y a lieu de le noter et de retenir que les entreprises de ce genre, à cause des risques qu'elles comportent, des capitaux considérables qu'elles exigent, ont besoin de longs amortissements et ne peuvent guère, en général, s'accommoder des durées courtes auxquelles on tend à réduire les concessions ordinaires de travaux publics. Sous ce rapport, la concession suisse de Chèvres, comme la concession française de Jonage, constituent des exemples qu'il est bon de méditer si l'on veut encourager les capitaux à se porter sur les affaires sérieuses et à se contenter de tarifs bas, avantageux au public.

On remarquera en second lieu l'obligation faite au concessionnaire de restituer aux installations préexistantes la force dont elles jouissaient avant lui. C'est une solution bien préférable à celle d'une indemnité de dépossession, laquelle risquerait de léser de légitimes intérêts ou de donner lieu à de fâcheuses spéculations. Les projets de lois dont est actuellement saisi le Parlement français consacrent également ce principe dont il y a lieu de souhaiter l'adoption (**).

(*) C'est la même durée (99 ans) que la loi française du 9 juillet 1892 a donnée à la concession de Jonage.

(**) Chambre des députés. (Annexe au procès-verbal de la séance du 6 juillet 1900.)— Projet de loi sur les usines hydrauliques publiques présenté par le Gouvernement.

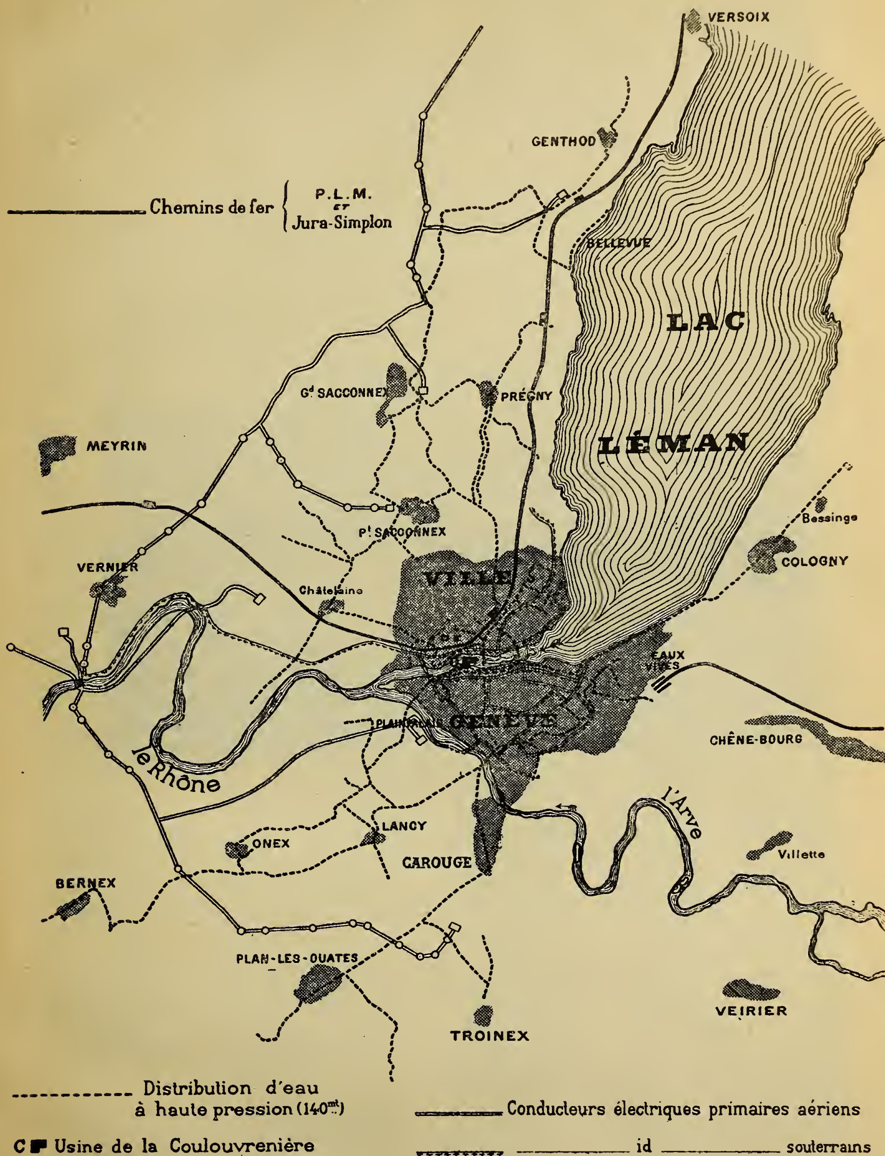
Enfin, l'Etat se réserve une part des bénéfices après rémunération du capital. Cette disposition paraît, *a priori*, moins justifiée. En France la participation aux bénéfices est habituellement limitée au remboursement des avances de l'Etat ; il est vrai que celui-ci entend s'assurer d'autres avantages tels que des fournitures d'énergie à des conditions spéciales pour les services publics et qu'il en étendra même, sans doute, le bénéfice aux Départements et



Plan de l'Usine de Chèvres.

aux Communes. Il est vrai encore que, dans le cas qui nous occupe, le concessionnaire étant une Ville qui forme à elle seule la majeure partie de l'Etat, la distinction perd beaucoup de son intérêt et cela d'autant plus que l'Etat de Genève tout entier est, comme on le verra plus loin, intéressé à la prospérité de l'affaire, la distribution d'énergie s'étendant ou devant s'étendre bientôt à tout son territoire. Dans ces conditions un prélèvement de 6 % pour l'intérêt et l'amortissement du capital peut lui assurer une rémunération suffisante. D'après le compte rendu du service municipal, la rémunération des dépenses faites par la Ville pour l'usine de Chèvres s'est élevée à 5,60 % pour l'exercice 1899.

L'usine est située sur le Rhône, à 7 kilomètres en aval de la Jonction (confluent de l'Arve), sous le village de Vernier.



DISTRIBUTIONS D'ENERGIE DANS LA BANLIEUE DE GENÈVE

Elle comprend un grand barrage formé de six vannes métalliques de 10 mètres d'ouverture chacune, séparées par des piliers en béton épais de 3 mètres, une digue longitudinale longue de 137 mètres, le bâtiment des machines et diverses annexes.

Le barrage a 75 mètres de longueur, il repose sur un radier en béton large de 16 mètres, épais de $1^{m},10$, revêtu de madriers protecteurs contre les galets (*) qui s'échappent entre les piliers.

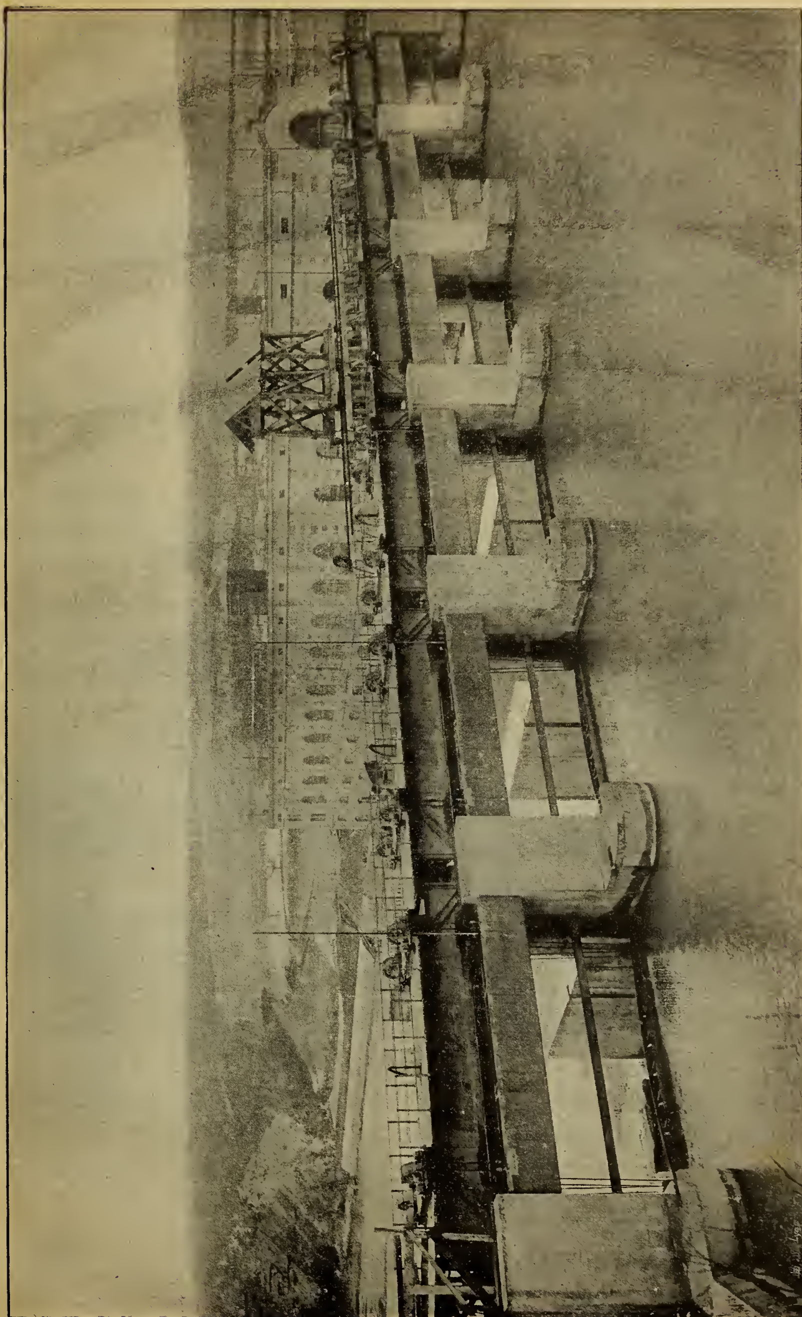


Usine de Chèvres. — Vue d'aval.

La manœuvre des vannes se fait à la main au moyen de treuils; deux hommes exerçant chacun un effort de 17 kilogrammes relèvent les six vannes de $0^{m},75$ par heure ou une seule vanne de $3^{m},70$ en 45 minutes.

Chaque vanne comprend un corps en tôle (18 plaques) raidi par 9 fermes paraboliques épouvées chacune à 50 tonnes, elle est équilibrée sur quatre câbles d'acier de 33 millimètres et supporte en charge une pression de 360 tonnes.

(*) Le Rhône, à sa sortie du lac Léman, est parfaitement limpide, mais il est fortement troublé, un peu plus loin, par les apports de l'Arve qui charrie des galets allant jusqu'à 14 kilogrammes.



Barrage de Chèvres. — Vue d'amont.

Au-dessus des vannes court une passerelle de manœuvre. Ce barrage, commencé en 1893, a été fini en janvier 1894 ; il est entièrement bâti en béton au dosage à peu près uniforme de 200 kilogrammes de chaux par mètre cube (pour le radier et le sommet des piles 200 kilogrammes de portland).

La campagne de 1894 a été consacrée à la construction du bâtiment des machines, fondé sur le fond rocheux du fleuve dans l'enceinte des deux batardeaux ; une seule pompe a suffi pour les épuisements. Il repose sur 18 travées de $7^{m},50$ (d'axe en axe) séparées par des piliers de $1^{m},50$, le tout également en béton au même dosage que ci-dessus.

L'usine de Chèvres possède 58 turbines, dont trois pour les excitatrices et le surplus pour les dynamos génératrices.

Elles sont de deux types différents : celles des excitatrices (150 tours par minute) donnent une puissance de 150 chevaux ; les autres une puissance moyenne de 1.000 chevaux. Elles viennent toutes de la maison Escher, Wyss et C[ie], de Zurich.

La hauteur de la chute de Chèvres est très variable ; on dispose en basses eaux, de $8^{m},50$, et seulement de $4^{m},30$ en hautes eaux. Il a donc fallu trouver une combinaison permettant de conserver une puissance à peu près constante malgré les variations considérables de la chute suivant les saisons. La difficulté se compliquait en outre de la nécessité de conserver dans tous les cas une vitesse de rotation assez élevée (80 tours au moins par minute) pour la commande directe des dynamos.

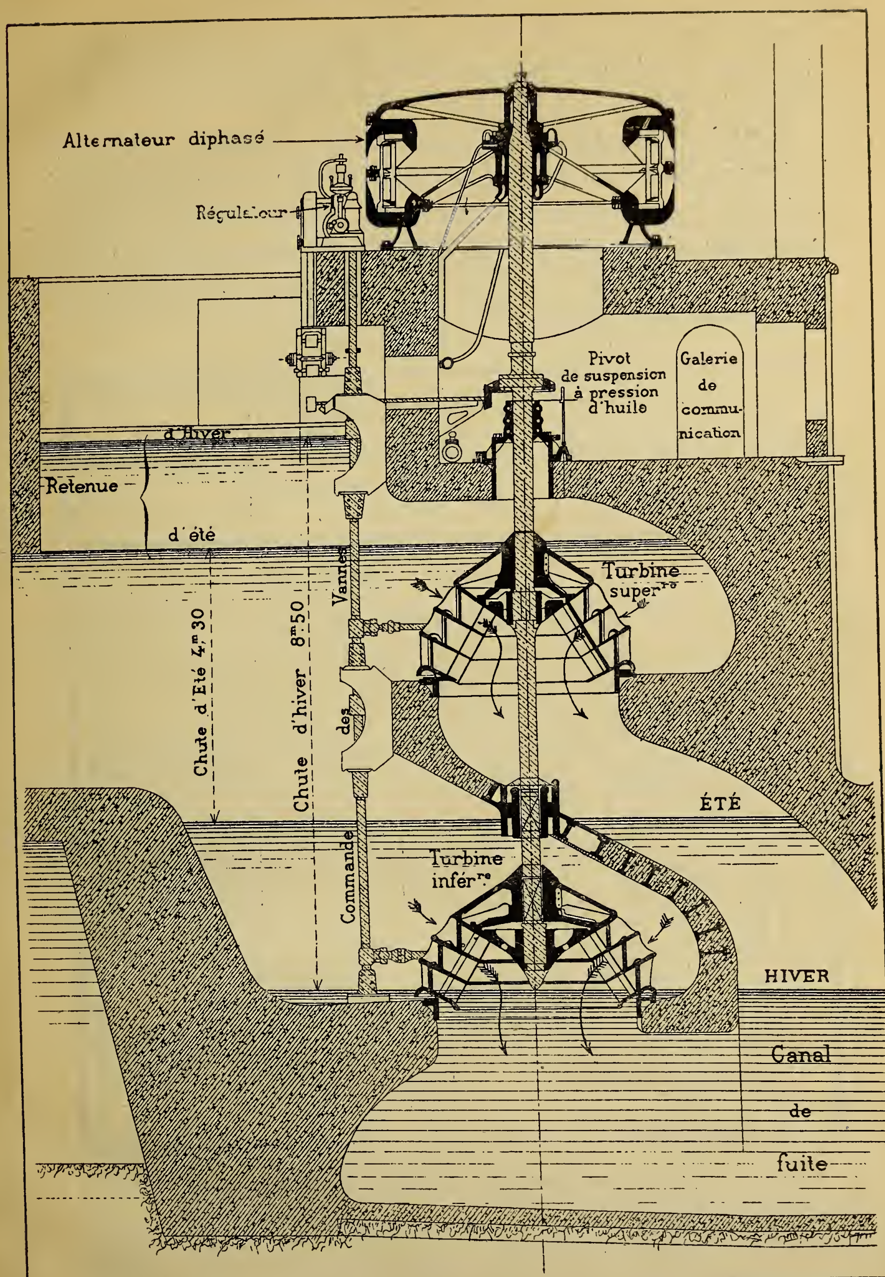
Ce problème a été résolu d'une façon très ingénieuse et satisfaisante par la division de la chute totale en deux étages correspondant aux divers états du fleuve.

A cet effet, chaque arbre vertical porte deux turbines l'une au-dessus de l'autre : l'inférieure est spécialement établie pour la période des eaux basses, où elle marche seule sous la chute de $8^{m},50$, en développant une puissance de 1.200 H P. (*).

La turbine supérieure sert conjointement avec la précédente

(*) Suivant l'usage, nous désignerons désormais l'unité de puissance (cheval-vapeur de 75 kilogrammètres à la seconde) par la notation H P. Ainsi 1.200 H P. signifie 1.200 chevaux.

Usine de Chèvres



Détails des Turbines

pendant les hautes eaux et elle est combinée de façon à donner par cette marche en commun à la chute minimum de 4m,30 (eaux d'été) une puissance de 800 H P.

Dans l'un et l'autre cas la vitesse de rotation demeure constante.

Les unités sont de deux types différents, car la construction s'est échelonnée sur plusieurs années (1895 à 1899). On trouve ci-après un tableau d'ensemble de leurs principales caractéristiques et une figure des turbines du premier type (1895-1896) suspendue sur bain d'huile sous pression :

Numéros des		Dates du montage	Puissances par unité	Nombre de tours par minute	Caractères des turbines			Observations
Groupes	Unités				Types des moteurs	Nombre de couronnes	Régulateurs	
I	1, 2, 3		150 H P.	150	Coniques centripètes.	3	Vannage sectionné semblable à celui des turbines ci-après :	Commandes des excitatrices
II	1, 2, 3, 4, 5	1895	de 800 à 1.200 — Moyenne 1.000 H P	80	Coniques centripètes à admission supérieure	3	Vannage circulaire sectionné	L'axe est entièrement suspendu, par un pivot circulaire à sa partie circulaire.
III	6 H, 7, 8, 9, 10, 11 H, 12 H, 13 H, 14 H, 15	1897	id.	120	Cylindriques centrifuges, axe en trois tronçons guidé par 4 paliers, charge équilibrée par la sous-pression.	2	Vannage cylindrique à mouvement vertical indépendant commandé par le servo-moteur à pression d'huile.	Les numéros marqués du signe H sont plus spécialement aménagés pour la grande chute de 8m50 (hiver), les autres pour la chute d'été (4m50). L'axe repose à sa partie inférieure sur une crapaudine scellée dans la maçonnerie.

Chaque turbine possède son vannage avec sa commande en connexion avec le régulateur correspondant. Ce dernier est actionné par l'arbre de la turbine. Il agit sur l'appareil de réglage hydraulique (à pression d'huile, environ 15 atmosphères) d'une

façon très prompte, les organes de réglage suivent instantanément les indications du tachymètre et la compensation se fait si rapidement que lorsqu'il se produit, par exemple, une variation brusque de 300 chevaux dans le travail des résistances, le nombre de tours varie de 3 % pendant quelques secondes et revient aussitôt à la vitesse normale.

Le débit par unité varie suivant les saisons entre 11 mètres cubes et 21 mètres cubes 1/2 par seconde. La puissance moyenne de l'usine est de 12.000 chevaux au moins à 15.000 chevaux.

Au sommet de chaque arbre vertical est montée la dynamo génératrice correspondante.

En voici les principales caractéristiques :

Numéros des Groupes	Numéros des Unités	NATURE des Générateurs	Débits	Nature du courant	Tensions	Fréquences	OBSERVATIONS
I	1 2 3	Excitatrices à 6 pôles (D'Œrlikon).	750 ampères.	Continu pour excitation des autres groupes.	115 v	»	6 pôles. Armature en tambour.
II	1 2 3 4 5	Alternateurs unipolaires Thury. Compagnie de l'Industrie électrique. (1895-96).	150 A par phase	Diphasé.	2.750 v	45 périodes	Induit (34 bobines), et inducteurs fixes. Fer tournant (80 tours). Poids de chaque alternateur : (70 tonnes). Diamètre 4m50 ; hauteur 2m20. Rendement à pleine charge : 93 %.
III	6 7 8 9 10 11	Alternateurs Brown, Boveri et Cie (1898-1899).		Diphasé.	2.750 v	45	Induit extérieur fixe *(Bobines verticales).* Inducteur intérieur tournant partie sur couronne conique.
IV	12 13 14	Alternateurs de la Compagnie de l'industrie électrique		Diphasé.	500 v	46	Induit extérieur fixe. Inducteur (46 noyaux), mobile (120 tours). Poids : 40 tonnes.
V	15	Dynamo Thury. Compagnie de l'industrie électrique.	4.000 A	Continu.	208 v	»	12 pôles. Enroulement de l'induit en grosses barres de cuivre logées dans des alvéoles. Collecteur de 1 mètre de diamètre. Frotteurs en charbon. Poids : 60 tonnes 1/2.



Usine de Chèvres. — Vue des alternateurs. — Salle des machines.

Les alternateurs de Chèvres sont disposés de manière à pouvoir donner des courants mono ou diphasés par un déplacement peu compliqué des organes.

Ils ont extérieurement l'aspect de grandes cloches de 4m,50 de diamètre et 2m,20 de hauteur. Des évidements nombreux facilitent l'approche de toutes les parties et leur aération, l'ensemble est robuste et simple.

Le tableau de distribution, divisé en trois parties, contient 34 tableaux.

De l'usine partent les lignes primaires qui alimentent Genève (deux lignes souterraines) et plusieurs communes voisines (lignes aériennes). L'extrait de carte donné ci-dessus en montre le tracé ainsi que celui de la distribution d'eau sous pression.

Chaque ligne souterraine (2.500 volts) comprend 4 conducteurs de 490 millimètres carrés de section utile. Les sept câbles qui constituent un conducteur sont isolés dans un béton de brai à la vaseline à l'intérieur d'un aqueduc maçonné. Les lignes aériennes (à 4 fils) ont des sections proportionnées à leurs débits (de 28 à 98 millimètres carrés).

Le développement du réseau était au 1er janvier 1900, savoir :

	PRIMAIRES	SECONDAIRES	ENSEMBLE
Lignes souterraines . . .	38.298 m.	38.967 m.	77.265 m.
Lignes aériennes	43.145	37.082	80.227
Totaux . . .	81.443 m.	76.049 m.	157.492 m.

Ce réseau de 160 kilomètres s'accroît rapidement, il doit bientôt se prolonger sur la rive Sud du lac, jusqu'à Corsier ; sur la rive opposée, il atteint Versoix et la frontière française (Fernex).

L'usine de Chèvres a distribué en 1899 5.000 chevaux pour l'électro-chimie (*), 4.500 pour la force motrice et l'éclairage

(*) Il existe à côté du barrage de Chèvres une fabrique électro-chimique de parfums, une usine de carbure de calcium, enfin une grande fabrique de soude par les pro-

(55.000 lampes) et plus de 1.850 pour certains moteurs spéciaux, soit en tout 11.430 chevaux. On prévoit le placement prochain de la totalité de l'énergie donnée par la chute.

Le kilowatt-heure compté à la sortie de l'usine (sans intérêt ni amortissement) a coûté, en 1889, 0fr,0047.

Le recette brute pour 27 millions 1/2 de kilowatts vendus ayant été de 512.444 francs, elle ressort à 0fr,018 6 par unité.

Les dépenses d'établissement de l'usine de Chèvres s'élèvent à 8 millions 1/2. Le budget du dernier exercice (1900) fait ressortir un bénéfice de 435.700 francs, soit un peu plus de 5 % du capital engagé.

D'autre part, la dépense d'exploitation (223.000 francs) a laissé une recette nette de 289.377 francs, dont la marche ascendante est parfaitement caractérisée :

ANNÉES	RECETTES brutes	DÉPENSES	RECETTES nettes	NOMBRE de kilowatts produits
1897	178.412 fr.	110.143 fr.	68.269 fr.	3.669.876
1898	269.137	129.390	139.947	9.517.262
1899	512.544	223.167	289.377	28.066.480
1900	630 635	295 000 (*)	335.635 (*)	31.111.454

L'avenir de cette grande entreprise paraît assuré, la recette nette du dernier exercice représente déjà près de 4 % du capital engagé, et la progression continuelle qui ressort de ce tableau ne laisse aucun doute sur les plus-values des exercices prochains.

cédés Outhenin-Chalandre (1.000 H P.), celles-ci appartenant à la Société la Volta (Suisse).

Ces clients consomment de grosses quantités d'énergie tout en jouissant de tarifs avantageux auxquels se prêtent les industries qui n'ont pas, comme la traction ou l'éclairage, leurs heures de consommation maximum commandées par les exigences d'un service public obligatoire.

(*) Chiffres approximatifs, les comptes de l'exercice n'étant pas encore définitivement clos.

La totalité de la force sera probablement placée d'ici à quelques années, elle l'est déjà pour une part importante.

C'est ce qui explique que l'on se soit déjà préoccupé d'aménager une nouvelle source d'énergie en aval de Chèvres, et justifie la confiance que ces sortes d'affaires inspirent à ceux qui sont témoins de leurs rapides développements. L'usine de Chèvres vend l'énergie à raison de 8 centimes l'hectowatt-heure pour l'éclairage de 8 à 25 centimes le kilowatt-heure pour force motrice ou de 150 à 750 francs le cheval-an suivant l'importance des abonnements.

Station centrale de l'Ile. — L'ancienne station centrale de l'Île est alimentée à la fois par l'eau sous pression envoyée de l'usine de la Coulouvrenière et par le courant alternatif diphasé envoyé par celle de Chèvres. Elle produit du courant continu à 110 volts pour l'éclairage en distribution à trois fils et à 560 volts pour le service des tramways.

La transformation des courants alternatifs en continus s'opère au moyen de commutatrices rotatives au nombre de deux pour l'éclairage et de trois pour la traction, leurs caractéristiques sont les suivantes :

	ÉCLAIRAGE	TRACTION
Induit { Diamètre.	$1^m,00$	$1^m,35$
Induit { Largeur.	0 ,40	0 ,44
Nombre de pôles.	14	16
Poids de la machine entière	6.750 k.	11.600 k.
Tension du courant produit.	110 V	560 V
Intensité sur chaque collecteur.	450 A	268 A
Nombre de tours.	385	336
Rendement.	90 %	90 %

Telles sont, très incomplètement résumées, les données principales des grandes installations hydro-électriques de Genève.

Leur étude est particulièrement intéressante en ce sens qu'elle montre réunis sur un même territoire des moyens très variés de transformation et de transport de l'énergie et des emplois non moins variés.

L'usine de la Coulouvrenière opère, sans transformation, ce transport par l'eau sous pression (avec un rendement de 60 %), elle donne une solution originale mais très spéciale du problème de la division des forces et de leur livraison à domicile par petites unités. Elle marque dans le temps la fin des moyens purement mécaniques (1890).

L'usine de Chèvres opère la transformation et le transport avec un rendement supérieur, elle donne une solution beaucoup plus générale du problème de la division des forces et de leur transport par grandes unités. Elle marque dans le temps le début de l'ère de l'électricité (1892).

Enfin il est intéressant de noter que (*), pour parer aux irrégularités de puissance de ses installations hydrauliques de la Coulouvrenière, la ville y a établi une pompe centrifuge de 1.000 H. P. mue par le courant envoyé de l'usine de Chèvres (moteur Brown, Boveri) et capable d'élever 380 litres par seconde à 140 mètres. Ce détail montre bien la supériorité de la deuxième installation à laquelle la première, malgré ses qualités incontestables, a dû recourir pour s'assurer en tout temps une régularité que ses seuls éléments eûssent été parfois impuissants à garantir.

L'ensemble des services hydro-électriques de Genève a coûté environ 22 millions ; le service municipal compte qu'il en retire 7 1/2 %. Ce rendement est la meilleure preuve de leur utilité ; mais malgré leur ampleur les installations actuelles ne paraissent pas devoir toujours suffire. La Ville envisage déjà la prochaine nécessité d'une nouvelle usine génératrice qui serait placée, comme nous avons eu occasion de le dire, en aval de Chèvres, près de la frontière française (à la Plaine). Elle s'est mise en mesure d'obtenir la concession et il faut s'attendre à en voir bientôt la réalisation. A ceux qui seraient tentés de s'étonner d'une si abondante quantité de forces jetées sur le marché d'une ville de 70.000 à 80.000 habitants, telle que Genève, il convient de répondre que cette abondance n'arrête pas les demandes mais en provoque

(*) Op. cit. — L'usine de Chèvres, page 73.

au contraire, sans cesse de nouvelles par l'immense impulsion qu'elle donne à l'industrie.

L'aménagement progressif des forces nouvelles apparaît ainsi non seulement comme la source à laquelle viendront s'alimenter dans l'avenir nos industries, mais encore comme le meilleur stimulant qu'elles puissent recevoir et comme le gage de leur extension dans les régions mêmes qui en sont encore dépourvues.

Ce sera l'honneur de la municipalité de Genève d'avoir, sur les conseils de MM. Légler Turettini, Pictet et de leurs collaborateurs, ouvert largement cette voie qui s'annonce si féconde et dont nous pouvons à peine concevoir encore toute la portée.

III. — Usines d'électro-chimie de la région des Alpes.

Nous grouperons, dans ce qui suit, les éléments relatifs à diverses usines électro-chimiques, parce que ces usines présentent un certain nombre de caractères communs qui ressortiront mieux de ce groupement sans entraîner d'inutiles redites.

Puis, nous ne saurions restreindre nos conclusions au petit nombre de celles qu'il nous a été donné de visiter. Il existe, en effet, dans les vallées de l'Arc et de la Haute-Isère, du Guiers, etc., d'autres établissements analogues que la Commission n'a pas eu le temps d'aller voir, mais dont les éléments n'offrent pas moins d'intérêt.

Avant d'en résumer les principaux caractères, nous dirons que l'électro-chimie et l'électro-métallurgie françaises ont de beaucoup leur principal théâtre dans la région des Alpes où elles comptent 25 usines, sur 33 qui existent en France.

La plupart empruntent leur force à des cours d'eau d'un débit modéré. M. Blondel donne dans sa note si intéressante sur les transmissions électriques d'énergie (*) (annexe n° 13), une liste de celles qui existaient en 1898, en Savoie et en Dauphiné ; nous la

(*) Note rédigée pour servir à l'étude du projet de loi sur les distributions d'énergie Chambre des Députés. Annexe au procès-verbal de la séance du 26 juin 1899.

reproduisons ci-après avec quelques modifications motivées par les changements survenus depuis cette époque.

Nos	DÉPARTEMENTS	COMMUNES	NOMS des usines	COURS d'eau	PUISSANCES utilisées	PRODUITS
1	Ain....	Bellegarde....			600 HP	Carbure de calcium.
2	Hte-Savoie	Micussy......	Pont du Risse	Le Giffre ..	6.000	id.
3		Passy	Chèdde.....	L'Arve....	10.000	Carbure et chlorates alcalins.
4	Savoie ...	La Praz......	La Praz....	L'Arc	8.000	Carbure et aluminium
5		Saint-Michel.	Saint-Michel	id. ..	2.000 10.000	Aluminium. Carbure et chlorates
6		Saint-Jean....	Saint-Jean..	id. ..	8.000	Chlorate.
7		Epierre	Epierre	id. ..	1.200	Carbure.
8		Montgirod....	Montgirod ..	L'Isère	2.600	Chlore et soude.
9		N.D. de Briançon	N.D. de Briançon	id. ..	3.000	Carbure.
10		La Bathie....	La Bathie .	id. ..	1.000 1.200	Carbure, Carborundum.
11		Chailles......	Chailles....	Le Guiers .	1.800	Carbure.
12		Saint-Béron...	Saint-Béron.	id ..	1.800	id.
13	Isère.....	Chapareillan..	Cernon.....	Le Cernon .		id.
14		Froges.......	Froges	Ruisseau de Froges..	600	id.
15		Livet et Gavet.	Livet	La Romanche	10.000	(?)
16		id.	Les Clavaux	id. .	5.000	Sodium et ses dérivés
17		Séchilienne ...	Séchilienne.	id. ..	1.200	Carbures.
				Ensemble... ...	74.000	

Sur cet ensemble de 74,000 chevaux utilisés, le tiers a été dirigé, un peu précipitamment peut-être, vers la fabrication du carbure de calcium, sur lequel pèse actuellement une crise aiguë de surproduction telle que les fabricants en sont réduits à se partager les commandes au prorata de 1/5 tout au plus de leur capacité de production et que quelques-uns ont dû fermer leurs usines. Cette crise n'est sans doute que momentanée, car la demande de carbure ne peut qu'augmenter ; d'ailleurs, ainsi que le disait en 1898 M. Blondel, si la fabrication électrique du carbure de calcium doit un jour disparaître devant des procédés chimiques plus économiques, les usines à carbure trouveront aisément d'autres produits à préparer avantageusement dans leurs fours.

C'est, en effet, l'un des caractères les plus frappants de l'électro-chimie que la souplesse avec laquelle elle sait transformer sa production.

On peut voir dans la vallée de la Romanche une importante usine montée, il y a quelques années, pour la fabrication de la soude. La Société propriétaire s'est découragée devant quelques difficultés du début et a fermé ses ateliers ; les acquéreurs viennent de louer l'usine à une nouvelle Société qui y installe en ce moment une fabrication du sodium et de ses dérivés. Loin de s'effrayer du sort de ses devanciers, cette Société songe à doubler sa puissance hydraulique !

Dans cette même vallée, on monte actuellement l'usine de Livet (10000 H P.) sans avoir encore en vue une fabrication déterminée. Cette usine, primitivement destinée au carbure de calcium (avant la crise) s'achève en ce moment : ses propriétaires n'hésitent pas à avancer d'énormes capitaux sans savoir quel sera exactement l'emploi de leur puissance et, si l'on en éprouve un premier moment de surprise, il est cependant difficile de les accuser d'imprudence, car l'expérience montre que la force trouve toujours son emploi, qu'à défaut d'un produit il est facile d'en fabriquer un autre (chlorates, aluminium, etc.) plus demandé, enfin, qu'à défaut de produits chimiques rémunérateurs, il reste toujours le vaste débouché des forces motrices, de l'éclairage, des transports à distance dont le rayon s'étend de plus en plus avec l'augmentation des voltages.

La Commission du Puy-de-Dôme a visité les usines qui portent les numéros 2, 3, 13, 15 et 16 dans le tableau précédent.

IV. — **Usine du Giffre.**

L'usine de Pont du Risse utilise une chute du Giffre de 71 mètres de hauteur (64 mètres de charge et 7 mètres d'aspiration). Pendant 8 mois de l'année, le débit est élevé et dépasse 7,000 litres par seconde, il peut aller jusqu'à 13,000, mais la capacité actuelle du canal d'amenée ne se prête pas à un débit aussi considérable.

Le jour de la visite de la Commission (19 mars), il recevait environ 5,000 litres, soit à peu près le minimum de ce que l'on emprunte au ruisseau.



Prise d'eau sur le Giffre.

La puissance s'obtient dans huit turbines centripètes de 1100 H P. actionnant chacune un alternateur monophasé de 760 kilowatts tournant à 400 tours. La jonction s'opère directement de bout en bout d'arbre par manchons Raffart.

L'usine possède, en outre, six turbines d'une puissance variable de 12 à 200 H P. pour broyage, ateliers, excitation, etc.

Elle produit exclusivement, jusqu'à ce jour, du carbure de cal-

cium, aussi sa fabrication est-elle ralentie par la crise générale dont on a déjà parlé.



Canal de Giffre. — Grande cascade du vannage de décharge.

La prise d'eau comporte un barrage en maçonnerie de 4 mètres de hauteur et un canal d'amenée à flanc de coteau du type le plus répandu dans les installations similaires de la région. Sa capacité semble pouvoir être utilement augmentée, car les pertes de charge y sont appréciables. Un vaste déversoir précède la chambre d'eau de l'extrémité. De là partent deux conduites forcées en tôle d'acier (*) de $1^{m},80$ de diamètre et 620 mètres de longueur, capables de satisfaire à une puissance de 9,000 H P.

(*) Construites par la maison Joya, de Grenoble.

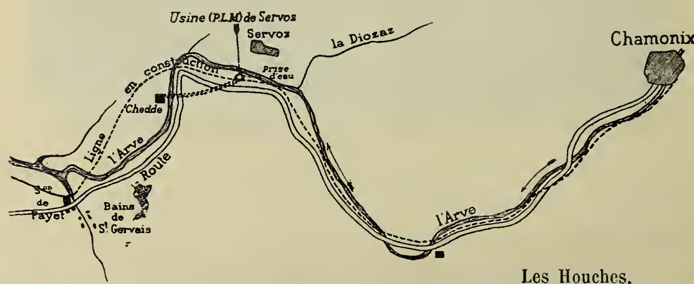
L'usine de Pont du Risse appartient à la Société électro-chimique du Giffre, elle fonctionne depuis 1898. Il n'y a point d'électrolyse, l'énergie est produite sous forme de courants alternatifs qui opèrent dans les fours électriques par action exclusivement thermique.

L'usine, bien outillée, est desservie par les routes voisines et par le tramway à vapeur d'Annemasse à Samoens. Il y a lieu d'espérer qu'elle entrera dans une période d'active prospérité lorsque la crise du carbure aura pris fin.

V. — Usines de l'Arve.

Parmi les cours d'eau puissamment alimentés qui contiennent d'importantes réserves d'énergie, l'Arve tient une des premières places.

Il reçoit le tribut des neiges du Mont-Blanc et de la majeure partie de son massif, sur le versant français ; son débit d'étiage est soutenu par une abondante fonte de glaces, sa pente est rapide ; il est donc le réservoir d'une puissance hydraulique considérable qui ne tardera certainement pas à recevoir des utilisations étendues.



Pour le moment, il dessert l'usine électro-chimique de Chèdde, près Saint-Gervais-les-Bains, et il va prochainement fournir à la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M. l'énergie nécessaire pour la traction sur la ligne du Fayet à Chamonix (38 kilomètres) dont

la construction touche actuellement à sa fin (*). — Cette ligne, à voie de 1 mètre, présente des rampes de 9 0/0 que la traction électrique permet seule d'aborder sans crémaillère avec adhérence totale.

La prise d'eau, voisine du village de Servoz, est commune à la Compagnie P.-L.-M. pour son usine du Chatelard (**) et à la Compagnie des eaux de l'Arve pour son usine de Chèdde.

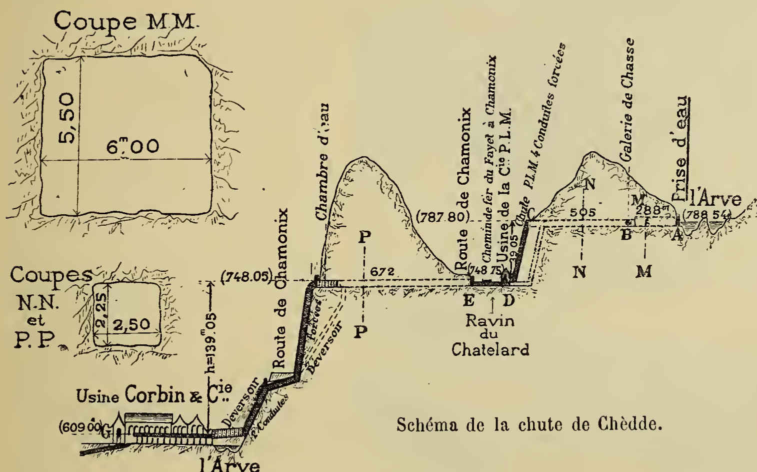


Schéma de la chute de Chèdde.

L'eau, dérivée du ruisseau (9 à 10 mètres cubes) est admise dans un premier tunnel à grande section où elle se décante partiellement ; elle passe de là dans un second tunnel (des Gûres), à l'extrémité duquel se trouve la chambre d'eau de la chute supérieure (h = 39 mètres) qui actionne les quatre turbines (de 325 chevaux chacune) de l'usine P. L. M. au moyen de quatre conduites forcées de 1 mètre de diamètre, visibles sur la photographie ci-après.

L'énergie (1,300 H. P.) est fournie aux véhicules (100 chevaux), tous auto-moteurs, par un rail de contact spécial placé le long de la voie (***).

(*) Ceci était écrit en mai 1901. Depuis cette époque, la ligne a été livrée à l'exploitation.

(**) La Compagnie P.-L.-M. aménage en amont de celle-ci une seconde usine de traction qui desservira la section des Houches, à Chamonix.

(***) La présente note ayant pour but l'étude d'ensemble des installations hydro-électriques, plutôt que celle des modes de traction qui en dérivent, nous nous en tiendrons à cette indication sommaire sur la ligne de Chamonix, qui sera, d'ailleurs, vraisemblablement, l'objet de publications intéressantes.

Après l'usine P.-L.-M. l'eau traverse à ciel ouvert le ravin du Chatelard et pénètre ensuite dans un troisième tunnel (des Egrats) long de 672 mètres, à l'extrémité duquel est la chambre d'eau (altitude 748 mètres) de la chute de Chèdde. Celle-ci, d'environ 140 mètres, réalise une puissance de 10,000 chev.



Usine P.-L.-M.

Deux conduites en tôle d'acier de $1^{m},40$ de diamètre partent de la chambre d'eau, descendent à peu près verticalement jusqu'à la route départementale du Fayet à Chamonix, passent en aqueduc sous cette route, traversent l'Arve sur une passerelle métallique et aboutissent à l'usine à l'altitude 609.

Voici les principaux éléments de l'usine :

	TURBINES	DYNAMOS
Nombre des unités.	12	12
Types des appareils.	Girard à axe horizontal	
Constructeurs	Brenier et Neyret (Grenoble)	4 d'Œrlikon. 4 du Creusot. 4 de Belfort (Soc. Alsacienne).
Rendements.	75 %	95 %
Puissance par unité	800 HP	560 kw = 760 HP
Puissance totale.	10.000 HP (avec accessoires)	9.200 HP (électriques).
Prix d'établissement du cheval.		
Sur l'arbre des turbines.	140 francs	»
Aux bornes des dynamos.	»	210 francs
Prix de revient du cheval-an.		
Sur l'arbre des turbines.	13 francs	»
Aux bornes des dynamos.	»	22 francs

La puissance est employée à une fabrication de chlorates de potasse et de soude par électrolyse de chlorures alcalins en dissolution (procédé Gall et de Montlaur, perfectionné par M. Corbin) et, en second lieu, à une fabrication de carbure de calcium ; l'usine produit annuellement de 2,200 à 2,500 tonnes de chlorates et 750 tonnes de carbure.

L'usine de Chèdde est le type des installations **de grandes forces à bas prix**. Le cheval y est réalisé dans des conditions économiques qui semblent, *a priori* invraisemblables. Tandis, en effet, qu'on se félicite partout ailleurs, de le réaliser à 300, 500 et même 1,000 francs (nous avons vu que l'on ne regrette pas de l'avoir réalisé à un prix bien plus élevé à Jonage), ici, l'établissement n'atteint pas 150 francs sur l'arbre des turbines et, cependant, l'usine de Chèdde n'emploie ni de très gros débits ni une très haute chute ; on peut dire que ses moyens d'action sont presque modestes, car il n'est pas exceptionnel de trouver en pays de montagne des chutes de 140 mètres ou des cours d'eau de 6 à 7 mètres cubes, mais, si chacune de ces conditions ne présente rien de particulièrement anormal, elles se trouvent rarement réunies, et il est plus rare encore de pouvoir échapper à de ruineuses acquisitions de terrains, ou réaliser à frais communs une grande prise d'eau comme on l'a fait ici avec la Compagnie P.-L.-M.

Quoi qu'il en soit, cette installation présente un intérêt de premier ordre et nous n'en connaissons aucune qui puisse rivaliser avec elle pour le prix de revient de la force.

Elle est dirigée par MM. Corbin et C[ie], à l'obligeance desquels nous devons ces renseignements.

VI. — Usines de Chapareillan et de Pontcharra.

Les deux installations dont nous allons parler appartiennent à la Société des forces motrices du Haut-Graisivaudan, fondée en 1898, au capital de 1,000,000 de francs.

La première remonte à quelques années plus haut. Etablie, tout

d'abord, en vue d'éclairer la ville de Chambéry, l'usine de Cernon, à Chapareillan, n'a pas tardé à devenir insuffisante et a reçu une autre destination. Cette usine se fait remarquer par la hauteur de sa chute qui est la plus élevée du monde (620 mètres de hauteur verticale).

Le ruisseau de Cernon, qui l'alimente, a malheureusement un débit insignifiant pendant l'été (50 litres à peine). La prise d'eau se trouve sur les pentes du Mont-Granier, au-dessus de Chapareillan ; elle consiste en un barrage en maçonnerie d'un faible relief sur le fond du torrent d'où part une conduite en tôle d'acier de $0^{m},30$ de diamètre, qui aboutit à l'usine après un parcours de 3,800 mètres rachetant une différence de niveau de 620 mètres.

La puissance réalisée à l'usine varie de 300 à 1,500 chevaux suivant le débit du Cernon.

Les moteurs sont au nombre de quatre :

Deux turbines Brenier et Neyret qui conduisent des alternateurs Labour donnant un courant de 1,500 ampères sous une tension de 160 volts,

Et deux turbines Bouvier qui conduisent des alternateurs du Creusot donnant 20 ampères sous une tension de 5,000 volts,

Tous les moteurs tournent à 360 tours.

Le courant à 160 volts est porté à 5,000 au moyen des transformateurs Labour (au nombre de quatre). On obtient donc du courant (monophasé à 5,000 volts), soit directement par les machines du Creusot, soit, après transformation, par les machines Labour.

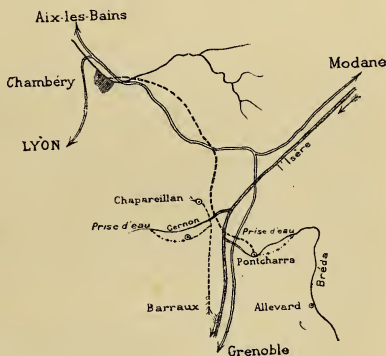
Ce courant ne sert plus aujourd'hui à l'éclairage de Chambéry, qui est assuré par l'usine de Pontcharra (voir ci-après) ; mais à l'éclairage des deux communes de Barraux et Chapareillan, qui est loin d'absorber la totalité de la puissance disponible. C'est pour employer son énergie surabondante que la Société a créé une petite usine électro-chimique où elle a fabriqué, pendant quelques années du carbure de calcium. On sait que ce produit s'obtient par l'action directe du charbon sur la chaux maintenue en fusion dans le four électrique.

Un arrêt de la Cour d'appel de Paris du 22 février 1901 a reconnu à M. Bullier la priorité de l'invention, aussi la Société des forces

motrices du Haut-Graisivaudan a-t-elle cessé sa fabrication et fermé son usine électro-chimique, qui recevra bientôt une autre destination.

L'usine de Chapareillan mérite une mention spéciale à **cause de la hauteur exceptionnelle de sa chute** qui donne, avec un ruisseau insignifiant, une puissance considérable, souvent supérieure à 1,000 chevaux. C'est un exemple des plus remarquables du parti que l'on peut tirer d'un simple filet d'eau à forte pente et des cascades de montagne.

La chute du Cernon ne suffisant plus aux besoins de la ville de Chambéry, la Société des forces motrices du Gaut-Graisivaudan a aménagé, en 1899, une nouvelle chute à Poncharra-sur-Bréda (route d'Allevard). La prise d'eau, très rustique, consiste en un barrage de 3 à 4 mètres de hauteur revêtu, suivant l'usage local, de pièces de bois en grume sur lesquelles glissent les galets et s'amortit la force vive du courant. A la suite, vient un canal découvert, long de 400 mètres, puis un tunnel de 6 mètres carrés de section ouvert dans le rocher de la rive gauche à l'abri des éboulements qui se produisent sans cesse sur la paroi abrupte du ravin (ce tunnel a coûté 120 francs le mètre).



A leur sortie du tunnel, les eaux pénètrent dans un réservoir de $35^{m},\times 5^{m}$, où elles se décantent et d'où part la conduite forcée en tôle de $1^{m},60$ de diamètre, posée sur piliers en maçonnerie qui rachète la chute de 42 mètres entre la chambre d'eau et l'usine. Cette conduite traverse le Bréda sur une passerelle métallique et aboutit au bâtiment situé sur la rive droite. De son extrémité se détachent six branchements de $0^{m},80$ de diamètre desservant les moteurs.

Le débit du Bréda varie de 3 à 7 mètres cubes par seconde et la puissance de l'usine de 1,300 à 3,000 chevaux.

Celle-ci peut contenir six moteurs, elle n'en a que trois pour le moment ; chaque unité de 50 H P., comprend une turbine à aspiration centripète (Brenier et Neyret) à axe horizontal avec régulateur automatique de vitesse par l'admission, un manchon d'accouplement Baffart avec volant, un alternateur (*) triphasé avec son excitatrice et un tableau indépendant avec rhéostat d'excitation, voltmètre, ampère-mètre-shunt et deux lampes de phase.

La vitesse étant réglée à 300 tours, chaque générateur donne 2,400 ampères sous une tension de 120 volts ; ils sont indépendants mais peuvent s'accoupler à l'aide d'interrupteurs à levier, logés sous le plancher de la salle, qui envoient le courant sur des barres omnibus retenues au plafond (**).

Le premier étage contient les transformateurs (Alioth) de 200 kilowatts à raison de deux par groupe générateur, ils reçoivent le courant à 120 volts des barres omnibus et rendent du courant à 10.000 volts sur les câbles de départ soutenus au plafond d'où partent les fils de ligne. A la suite sont disposés trois parafoudres Fortis. L'énergie est livrée à Chambéry à raison de 6 centimes l'hectowatt-heure, ou à forfait, d'après un tarif qui varie de 25 francs (lampes de 5 bougies) à 40 francs, 52 francs et 90 francs (lampes de 32 bougies) ; elle est livrée aux villages également à 0 fr. 06 l'hectowatt-heure ou à forfait d'après un tarif qui varie de 10 francs à 50 francs, suivant le calibre des lampes et la nature des locaux éclairés.

La Société fournit aussi de la force motrice au compteur ou à forfait, savoir :

1° Entre 5 heures du matin et 7 heures du soir, à raison de 300 francs le cheval-an, ou 0 fr. 30 le kilowatt-heure ;

2° En dehors des heures de l'éclairage municipal de Chambéry, 150 francs le cheval-an, ou 0 fr. 15 le kilowatt-heure.

Enfin, la Société installe gratuitement les lampes à forfait.

(*) Un alternateur Alioth, deux d'Œrlikon.

Les rendements sont de 75 0/0 pour les turbines, et de 93 à 92 1/2 0/0 pour les dynamos.

(**) Ces renseignements nous ont été gracieusement fournis par MM. Dalberto, président du Conseil d'administration, et Juéry, ingénieur de la Société, auxquels nous adressons tous nos remerciements.

Un pont roulant de 10 tonnes, une ligne téléphonique et des bâtiments accessoires complètent cette installation qui présente les caractères d'une économie bien entendue et qui est facilement extensible ; ces précieuses qualités pratiques sont le meilleur garant de la prospérité à laquelle cette intéressante affaire paraît appelée.

VII. — Usine Bergès, à Lancey (*)

C'est à **Lancey**, à 15 kilomètres de Grenoble, qu'a été créée la **première grande chute** et qu'a été conçu le premier aménagement industriel d'un ruisseau de montagne de grande puissance, quoique de faible débit, sur les pentes du massif montagneux de Belledonne.

Ce massif présente, il est vrai, des conditions exceptionnellement avantageuses pour ce genre d'industrie : son altitude moyenne est considérable (2,500 à 3,000 mètres) ; ses pentes, assez rapides pour que de hautes chutes y soient partout réalisables sans un développement excessif des canalisations, sont également assez boisées pour retenir les précipitations atmosphériques et échapper à l'action dévastatrice des torrents ; il reçoit une abondante somme de pluieset de neiges (de $0^{m},75$ à $1^{m},60$ par an suivant les altitudes) ; il a le privilège de posséder de nombreux lacs (Blanc, Crozet, Doménons, etc.) (**), admirablement situés comme réservoirs et abondamment alimentés ; enfin, il domine immédiatement une riche vallée dont l'altitude (200 à 250 mètres), remarquablement faible pour un voisinage aussi élevé, permet de trouver d'énormes chutes verticales.

Un tel ensemble de conditions est rare partout, même en Dau-

(*) Voir la *Revue des Deux Mondes*, 1er avril 1901 : Les hautes chutes. La Houille blanche, par M. G. Hanotaux, de l'Académie française.

(**) Nous ne parlons ici que du massif de Belledonne proprement dit. Quelques massifs voisins et notamment son prolongement Nord-Est (plateau des Sept-Laux) sont eux-mêmes remarquablement disposés pour un aménagement d'énormes richesses hydrauliques encore sans emploi.

phiné, et c'est à juste titre que M. Tavernier le signale comme **merveilleux** et **exceptionnel** dans les Alpes (*).

Mais l'on a vécu des siècles au sein de ces richesses sans en comprendre le prix ni se douter de leur incalculable fécondité. M. A. Bergès a le mérite de les avoir, le premier, comprises et d'en avoir fait la première application ; il est bien véritablement le Père de la **Houille blanche** (**).

Arrivé à Lancey vers 1868, M. Bergès a établi au point où le modeste ruisseau de la Combe débouche dans la vallée de l'Isère, une fabrique de pâte à papier mise en mouvement par l'eau captée en tuyaux 200 mètres au-dessus ; c'était une hardiesse considérable pour l'époque, les critiques ne lui ont point manqué, mais il a passé outre et leur a répondu en posant un deuxième tuyau réalisant, cette fois, une chute de 500 mètres.

En même temps, il s'occupait de régulariser le débit du ruisseau très variable avec les saisons ; ce n'est pas « *l'étiage* » qui marque ici les basses eaux, mais « *l'hivernage* », car, en été, le débit est soutenu par une abondante fusion des neiges, tandis qu'en hiver tout est glacé, et l'écoulement réduit au minimum. Or, le ruisseau est en grande partie alimenté par le bassin d'un lac situé à l'altitude 1,966 mètres, le lac Crozet, dont une sorte de seuil rocheux divise l'étendue en deux cuvettes très inégales, la plus petite étant celle d'aval. M. Bergès a commencé par réunir ces deux cuvettes au moyen d'un siphon qui a procuré l'utilisation d'une certaine tranche d'eau auparavant sans emploi. Quoique la réduction de la pression atmosphérique à cette altitude limite à 6 ou 7 mètres la hauteur de fonctionnement de l'appareil, le résultat n'en n'a pas été moins heureux, car chaque tranche de 1 mètre d'épaisseur représente un volume d'eau de 75,000 mètres cubes sur l'ensemble de la surface du lac.

(*) Les forces hydrauliques des Alpes en France, en Italie et en Suisse. — Rapport de Mission, par M. Tavernier. (Veuve Dunod, éditeur, Paris 1900).

(**) Cette expression de « Houille blanche », si pittoresque et si heureuse, a été donnée en 1889 par M. Bergès, à la mine inépuisable d'énergie qu'offrent les réserves de neige des glaciers alpins. Le ministre Cavour l'aurait, dit-on, déjà employée avant lui ; mais, M. Bergès, s'il n'a pas créé l'expression (ce qui d'ailleurs n'est pas prouvé), a sûrement créé l'industrie et ouvert la voie.

Un peu plus tard, M. Bergès a entrepris d'en relever le niveau par un barrage surmontant le seuil rocheux qui lui sert de déversoir naturel. Il a fallu de longues et laborieuses négociations avec deux communes propriétaires des pâturages riverains du lac. L'opération n'est encore que partiellement réalisée sur $3^{m},50$ de hauteur environ, elle est étudiée jusqu'à 30 mètres.

En 1891, M. Bergès a doublé sa puissance en amenant à Lancey, sous une charge de 485 mètres, les eaux du ruisseau de Saint-Mury, issues du lac Blanc (2,160 mètres) et coulant dans une vallée voisine parallèle.

En 1897, il a imaginé, pour tirer parti de la nappe stérile retenue en contre-bas du seuil du lac Crozet, de percer, sous ce seuil en plein rocher, un tunnel de 230 mètres de longueur (*) qui débouche à 23 mètres de profondeur sous la surface et qui donne le moyen de tirer parti, pendant la période des basses eaux d'hiver, d'une réserve considérable (au moins 1,500,000 mètres cubes).

Enfin, M. Bergès a étudié tout un système d'aménagement des lacs situés dans la partie supérieure des deux vallées de Lancey et de Saint-Mury, de façon à en utiliser un jour la chute totale (1,700 mètres environ) qui correspond à une puissance de **10,000 chevaux** alimentée par l'eau tombée sur un bassin de **44 kilomètres carrés.**

C'est en comparant ce résultat à ce que l'on pourrait faire dans les régions analogues des parties montagneuses que M. Bergès a donné une évaluation de **10 millions de chevaux** pour l'ensemble des richesses hydrauliques de la France. Or, les 40,000 kilomètres de nos chemins de fer français emploient une puissance d'environ 4 millions de chevaux; les autres industries en emploient environ 2 millions 1/2. C'est donc un total de 6 millions 1/2 que produit actuellement la vapeur sur l'ensemble de notre territoire.

(*) L'ouverture de ce tunnel n'a pas été sans quelques difficultés, surtout en approchant du lac, sous une charge d'eau de 20 à 25 mètres. Les derniers mètres ont été exécutés avec précautions et les mines extrêmes chargées derrière une double porte en tôle munie de robinets et d'un orifice vissé, par laquelle les ouvriers s'étaient retirés avant la mise du feu.

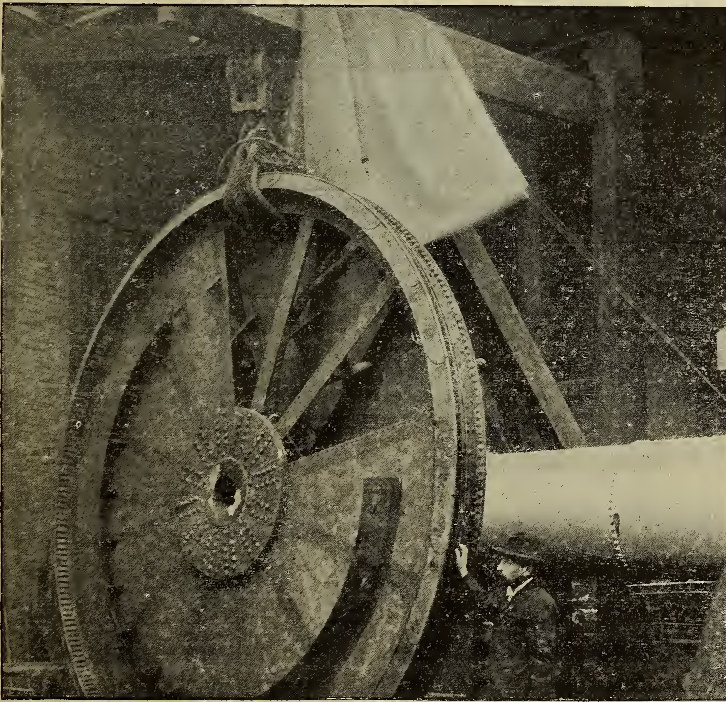
Les 10 millions d'unités que signale M. Bergès amèneraient donc une véritable révolution dans notre outillage national le jour où on les aurait aménagés.

Toutefois, il n'a peut-être pas assez tenu compte du caractère tout à fait exceptionnel de son bassin en généralisant de la sorte, car on ne trouve certainement pas souvent, même dans les Alpes, comme on l'a vu plus haut, un ensemble de circonstances aussi favorables qu'à Lancey et l'on peut affirmer que fort peu de bassins montagneux, en France, seraient capables de fournir 10.000 chevaux pour 44 kilomètres de superficie. Mais, même en réduisant de moitié l'évaluation et en fixant **à 5 millions de chevaux** la puissance de nos forces hydrauliques, on voit à quel point leur aménagement rationnel augmenterait la richesse industrielle du pays.

A son arrivée dans l'usine, l'eau, sous l'énorme charge qu'elle subit, sort des orifices avec une vitesse de 60 à 80 mètres par seconde ; il faut des appareils combinés d'une manière spéciale ; les orifices des tuyères ont donc été étudiés et ingénieusement disposés pour résister à ces vitesses comme aux effets d'usure sous l'action des particules sableuses, heureusement rares, que peut entraîner le courant ; les moteurs ont revêtu des formes appropriées, ils ont accru leurs diamètres pour réaliser, à la circonférence, des vitesses du même ordre que celle du liquide ; la largeur des couronnes a diminué en proportion et le moteur a pris finalement l'aspect d'une grande roue de 4 mètres de diamètre, à jante étroite (5 ou 6 centimètres). L'eau agit par force vive sous forme de jets de 2 centimètres de diamètre, à raison de quatre jets pour un moteur de 600 chevaux et le visiteur qui traverse l'usine pour la première fois a quelque peine à se faire à l'idée d'une pareille puissance due à un aussi mince jet d'eau (*), mais ce qu'il y voit de plus instructif, c'est moins l'intensité de pareils effets que leur variété et le grand nombre des services rendus.

(*) Ce n'est pas sans surprise, par exemple, qu'un homme robuste constate son impuissance à couper d'un vigoureux coup de sabre le jet à sa sortie de l'orifice ou encore qu'il se voit renversé en arrière par la réaction d'une lance qu'il tient à la main et dont il ouvre tout à coup le robinet.

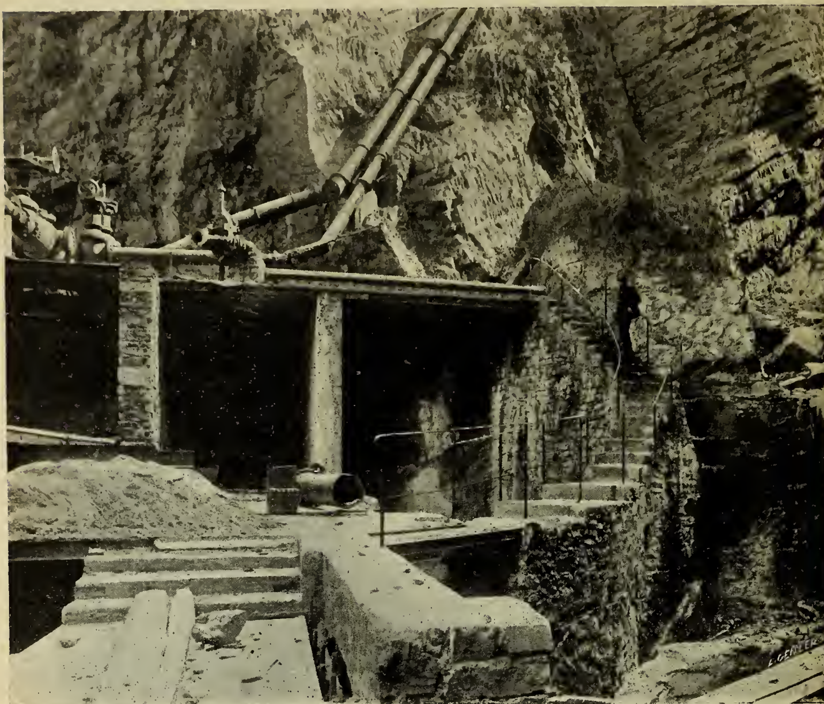
M. Bergès a débuté, il y a 30 ans, par une modeste fabrication de papier et de pâte de bois; aujourd'hui, l'usine de Lancey, pourvue de 12 turbines d'une puissance de 4.000 à 5.000 chevaux, produit annuellement 3.500 tonnes de pâte mécanique, 4.000 tonnes de cellulose et 10.000 tonnes de papier. Tous ses organes mécaniques (scies, décortiqueurs, défibreurs, ascenceurs, etc...) reçoivent leur énergie de la chute hydraulique. A côté d'eux une turbine est spécialement consacrée à produire du courant continu pour électrolyse de chlorures et fabrication d'hypochlorites alcalins qui servent au blanchiment de la pâte.



Une des turbines de Lancey, au montage.

Un peu plus loin, quatre alternateurs produisent du courant monophasé qui est distribué sous une tension de 10.000 volts dans un rayon de 15 kilomètres pour l'éclairage de la vallée de l'Isère.

Nous ne citons que pour mémoire les fours à carbure de calcium qui ne sont pas en service actuellement.



Lancey. — Arrivée des conduites forcées avant leur entrée dans l'usine.

Enfin, tout à côté de l'usine à papier, un branchement dérivé de la colonne principale amène l'eau sous pression aux moteurs de l'usine de la Compagnie du tramway de Grenoble à Chapareillan dont nous parlerons plus loin.

Il y a donc à Lancey une série complète d'emplois variés que l'on ne trouve pas ailleurs, tout au moins au même degré, ce qui permet de dire que l'usine qui fut le berceau de cette féconde industrie de la houille blanche tient encore la tête comme terrain de démonstration en mettant sous les yeux des visiteurs un exemple pratique de toutes les catégories d'applications.

Elle est, d'ailleurs, la seule qui ait donné lieu aux ingénieuses

opérations des aménagements de lacs dont il a été question plus haut.

Enfin, à Lancey, la lumière est distribuée dans les meilleures conditions de prix puisque les fermes de la campagne avoisinante peuvent avoir par exemple :

Une première lampe de 10 bougies pour	25 fr.	par an.
Une deuxième lampe de 10 bougies pour.	15	—
et trois lampes de 5 bougies (à 5 fr. l'une)	15	—
C'est-à-dire 5 lampes (35 bougies) pour	55	—

Ce qui revient à 11 francs par lampe ou encore à 1 fr. 60 par bougie-an.

Usine du tramway de Chapareillan. — A côté de la fabrique à papier de Lancey, se trouve, avons-nous dit, une petite usine où la **Compagnie du tramway de Grenoble à Chapareillan** produit le courant qui actionne ses voitures.

Cette Compagnie est donc un simple client de M. Bergès qui lui fournit, non du courant électrique, mais du courant liquide sous forme d'eau à la pression de ses conduites et au prix de 100 francs le cheval-an avec une redevance minimum de 25.000 francs correspondant à une consommation continue de 250 (*) chevaux. On ne mesure que la quantité d'eau livrée, puisque la pression demeure constamment celle de la colonne en charge de Lancey (environ 500 mètres) ; à cet effet, un compteur est placé à l'entrée de l'usine. Cette eau actionne trois (**) turbines Brenier et Neyret de 400 HP à axe horizontal et libre déviation, tournant à 325 tours ; à chacune

(*) Le minimum de 25.000 francs n'a pas été jusqu'ici dépassé, c'est-à-dire que la ligne n'exige pas une puissance moyenne continue de plus de 250 chevaux. Elle a cependant 43 kilomètres de longueur et une exploitation intensive sur sa première section (banlieue de Grenoble), où les départs se succèdent toutes les demi-heures. Cela fait un peu moins de 6 chevaux par kilomètre. D'autre part, à certains moments, la puissance développée atteint, au contraire, un total très élevé (jusqu'à 1.000 et 1.500 chevaux). Cela montre les énormes variations des demandes momentanées d'énergie des entreprises de traction et fait bien ressortir les avantages qu'il y a généralement à les combiner avec d'autres opérations qui régularisent la consommation totale (éclairage, industries chimiques, électrolyse, etc.), faute de quoi la puissance de la source d'énergie qui les dessert peut se trouver fort mal utilisée.

(**) Deux seulement en marche normale, la troisième servant de réserve.

est liée, par joint élastique Raffart, une dynamo génératrice compound du Creusot (type 4 N) qui donne du courant continu (417 A.) sous une tension de 600 volts, Le rendement des turbines approche de 80 % et celui des dynamos est de 94 %.

La puissance de chaque unité est d'environ 320 H P ; en cas de marche forcée, l'usine peut développer jusqu'à 800 H P (*).

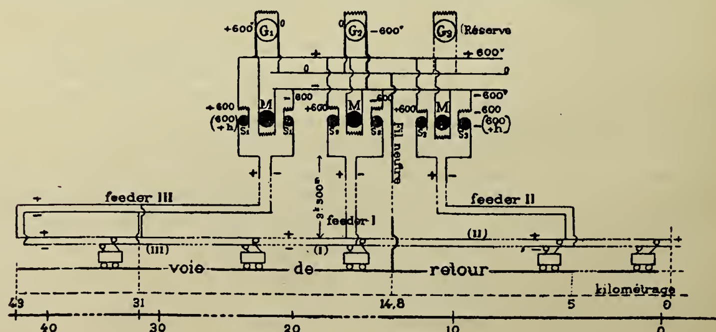
Les génératrices montées en série, forment avec les deux câbles de contact et les rails de la voie une distribution à 3 fils avec deux chutes de potentiel de 600 volts, la voie étant à l'état neutre. L'on a réalisé de la sorte une économie de cuivre notable puisque le transport de l'énergie se fait sous une tension de 1.200 volts, tout en ne donnant qu'une différence de potentiel sans dangers (600 volts) entre chacun des càbles et la terre. Enfin, des survolteurs très ingénieux (**) maintiennent constante la tension dans les câbles, malgré les variations considérables du débit provenant des inégalités d'un profil accidenté et des exigences d'une exploitation très inégalement intensive sur les diverses sections de la ligne.

Cette installation réalise en France le premier exemple d'un important réseau (43 kilomètres) de voies ferrées obtenant son

(*) Le matériel roulant automoteur est armé de deux moteurs de 35 H P (70 H P par véhicule). Les automotrices peuvent recevoir une charge utile de 5 tonnes et remorquer deux wagons chargés chacun à 10 tonnes sur une rampe de 40/1000.

A chaque moteur correspond un trolley et un câble de contact, les voitures portent donc chacune deux trolleys, ce qui n'a pas été sans causer quelque embarras au début, surtout à cause de la complication des aiguillages doubles. Les difficultés semblent maintenant heureusement résolues, et le service fonctionne régulièrement.

(**) Le schéma ci-après représente la distribution de Lancey à Chapareillan :



énergie par l'eau sous pression louée à des tiers. Une telle combinaison pourrait, dans bien des cas, faciliter les entreprises de traction, il est à désirer qu'elle se généralise et que les Compagnie de tramways ou de chemins de fer soient autorisées moyennant des garanties convenables, d'ailleurs faciles à trouver, à emprunter leur énergie à des industries hydrauliques déjà en place, sans être obligées d'aménager elles-mêmes, de toutes pièces, des chutes nouvelles souvent impossibles à acquérir et dont elles utiliseraient rarement toute la puissance.

Service normal	G 1, G 2	Génératrices (4 N) du Creusot à excitation compound de 250 kw chacune (417 A, 600 v).
Réserve	G 3	

Les génératrices G 1 et G2, montées en série, donnent du courant à la tension de ± 600 v avec potentiel nul sur le fil neutre relié à la voie.

La ligne est divisée en trois secteurs indépendants, alimentés chacun par deux feeders à ± 600 volts, savoir :

Numéros des secteurs	Longueurs des secteurs (AR)	Sections des feeders
I	10 kil.	64 mmq.
II	27 —	125 —
III	46 —	90 —

Si, dans un secteur, la consommation de courant vient à augmenter (par exemple quand plusieurs trains gravissent une rampe) l'excitation des machines série S du survolteur correspondant augmente, elles fournissent alors, pour faire face au supplément momentané de débit, un courant additionnel qui se superpose au premier, en relève la tension qui tendait à faiblir et la maintient dans les câbles de contact à son chiffre normal de 600 volts.

C'est là une élégante solution d'un problème assez complexe par l'emploi des courants continus à tension modérée.

A chaque secteur correspond un groupe de survolteurs comprenant :

1° Un moteur (M) en dérivation sur les fils extrêmes, marchant par conséquent sous une tension de 1.200 volts ; ce moteur est excité en dérivation ;

2° Deux dynamos-série (S) recevant du courant à ± 600 volts et relevant sa tension d'une quantité h variable avec l'excitation, ce sont les survolteurs.

Le moteur (M) étant excité en dérivation tourne à vitesse constante, quelles que soient les résistances de la ligne. Il entraîne dans son mouvement uniforme les deux survolteurs (S), calés sur le même arbre, véritables génératrices-série, traversées par le courant de ligne. Si elles n'étaient pas conduites par le moteur (M), ces dynamos (S), sous l'action du courant de la ligne, tourneraient elles-mêmes en sens inverse en absorbant de l'énergie comme des réceptrices ordinaires ; mais n'étant pas chargées, elles s'emballeraient rapidement. La rotation contraire que leur imprime le moteur (M) leur fait produire du courant au lieu d'en absorber.

Le courant qu'elles produisent possède une tension proportionnelle. 1° à la vitesse de rotation qui ne varie pas comme on vient de le dire ; 2° au nombre des spires induites qui est fixe par construction ; 3° enfin à l'induction, laquelle seule est variable avec l'intensité du courant excitateur, c'est-à-dire du courant de la ligne, puisque les survolteurs

Usine de Cernon (*Chapareillan*). — Nous ne donnerons qu'une simple mention à l'usine électro-chimique du **Cernon**, à Chapareillan (Isère). Elle a servi à une courte fabrication de carbure de calcium et se trouve actuellement sans emploi.

Tout à côté de cette petite usine; s'en élève une seconde consacrée à l'éclairage de plusieurs villages ou hameaux de la vallée de l'Isère.

Elles appartiennent, l'une et l'autre, à la **Société des forces motrices du Haut-Graisivaudan** ; nous y reviendrons plus loin en parlant des installations d'éclairage.

Vallée de la Romanche. — La vallée de la Romanche est particulièrement intéressante en ce moment par l'utilisation intense dont elle est l'objet. Sur un parcours de vingt kilomètres, entre Vizille et Livet, l'on ne trouve pas moins de six grandes installations (*) d'une puissance totale de 30.000 à 40.000 chevaux. C'est

---

sont excités en série par ce courant lui-même. Par conséquent, la tension h du courant produit par les survolteurs (S), est proportionnelle au courant débité sur la ligne.

Dès lors, si ce dernier vient à augmenter (par exemple lorsque plusieurs trains gravissent ensemble de fortes rampes) la tension h qui s'ajoute au voltage fixe (600) augmente elle-même. On peut ainsi maintenir sensiblement constante et voisine de 600 volts la tension effective dans les fils au contact des trolleys; cette constance est réalisée d'une façon très satisfaisante, un voltmètre monté sur les voitures oscille entre 580 et 600 volts, résultat que l'on n'aurait assurément pas obtenu sans cet ingénieux artifice des survolteurs qui compensent les pertes de charges variables dues aux écarts considérables de la consommation par le fait du profil accidenté de la ligne.

Grâce à cette permanence de la tension active, un fourgon automoteur de 70 H P, chargé lui-même de 5 tonnes, peut remorquer à bonne allure deux wagons chargés chacun de 10 tonnes, sans sortir de l'horaire normal.

Ainsi armée, la ligne peut supporter huit trains en marche simultanée.

Le tramway de Grenoble à Chapareillan, dont les débuts ont été extrêmement difficiles à cause notamment des complications du réglage de cette délicate distribution, semble devoir donner désormais des résultats satisfaisants. Les recettes de la seconde année d'exploitation (1900) couvrent les dépenses et laissent même un certain excédent qui permet d'espérer pour l'avenir un rendement meilleur. Si les dépenses de construction ne s'étaient pas élevées à un chiffre malheureusement excessif (plus de 100.000 francs par kilomètre), cette intéressante entreprise aurait pu, quoique la région desservie exclusivement agricole n'ait presque aucune industrie, donner dès le début un rendement acceptable. L'habile direction de son chef d'exploitation, M. Manhès, à l'obligeance duquel nous devons ces renseignements, permet d'espérer qu'avant peu l'affaire trouvera la prospérité que nous lui souhaitons.

(*) Usine de Livet, papeteries de Rioupéroux et du Chaudon, Soudières de Gavet (les Clavaux), carbure de Séchilienne, usine du Péage, etc.

assurément la vallée la plus industrielle des Alpes françaises, il y a peu d'années encore elle en était la plus déshéritée et la moins peuplée, elle offre l'exemple le plus frappant d'une transformation radicale accomplie en moins d'un quart de siècle par l'utilisation des eaux de montagne si justement qualifiées de « **houille blanche** ». Il est vrai que la Romanche est alimentée par les puissantes réserves glaciaires des massifs de Belledonne et du Pelvoux, c'était donc bien là le théâtre par excellence de l'aménagement industriel de cette houille blanche, si longtemps méconnue.

L'électro-chimie y tient une place considérable, mais elle ne l'occupe pas seule.

Deux grandes usines de fabrication de papier existent l'une près de Vizille, l'autre à **Rioupéroux**. Cette dernière à laquelle la Commission n'a pu faire qu'une très courte visite, utilise, par huit turbines, deux chutes de 35 à 40 mètres avec une puissance totale de 7.000 à 8.000 chevaux.

VIII. — **Usine de Livet.**

L'usine de Livet (Isère) utilisera sous une chute nette de 60 mètres, les eaux de la Romanche dérivées souterrainement à deux kilomètres du village de ce nom, en amont de Rioupéroux.

Prise d'eau. — La prise d'eau est en déversoir latéral, avec barrage fixe de retenue et pertuis de chasse. On compte éviter ainsi l'engorgement du canal de dérivation, les frais et les interruptions de service qui en seraient la conséquence et obtenir en outre une décantation partielle des sables en suspension, en n'admettant que l'eau de surface.

Le déversoir de prise d'eau précède immédiatement le pertuis de chasse. Sa crête est inférieure de $0^m,60$ à celle du barrage de retenue et supérieure de 2 mètres au fond du pertuis. Sa longueur lui permettrait de débiter jusqu'à 25 mètres cubes par seconde, lorsque l'eau est retenue au niveau de la crête du barrage. Une grille de garde G inclinée à 30° arrête les corps flottants.

Un pertuis de chasse, large de 6 mètres, commandé par trois vannes au niveau du barrage, assure l'évacuation des apports solides. Son radier, en libages maçonnés au ciment, se prolonge en amont jusqu'à l'origine de la prise d'eau, et en aval, assez loin



Usine de Livet. — La prise d'eau.

pour prévenir tout affouillement ; sa pente de 3 ‰, provoque une chasse rapide et sa profondeur suffit pour l'évacuation de tous les apports.

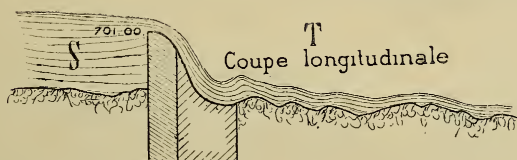
Barrage. — Le barrage qui détermine une faible retenue est édifié dans les rapides de l'ancien lac de Saint-Laurent (*), à

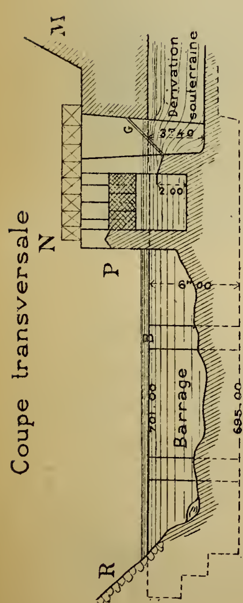
(*) Lac formé au XIIme siècle par les éboulements de Vaudaine et de l'Infernet. Le barrage de ce lac se rompit en 1219 et cette rupture détermina, par la vidange brusque du lac, une crue violente de la Romanche et du Drac qui inondèrent la ville de Grenoble et la détruisirent en partie. Cet évènement a laissé dans tout le pays un souvenir profond sous le nom de « **Déluge de Saint-Laurent** ».

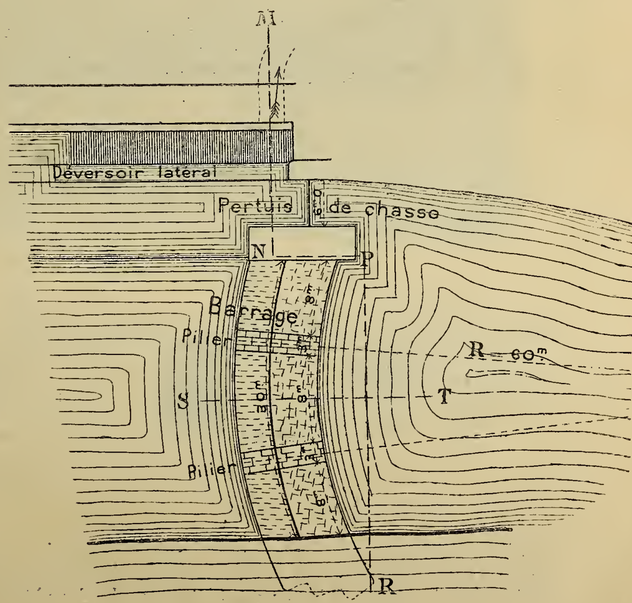
144 mètres du pont de l'Aveynat, il est fixe; ses dispositions ont été étudiées en vue de résister au courant rapide de la Romanche et de prévenir les affouillements en aval.

Sa forme en plan est celle d'un arc de cercle de 60 mètres de rayon. Son développement est de 30 mètres ; il est divisé en trois voussoirs ou arceaux prenant leur appui sur des piliers de $10^m \times 3^m$, sur le bajoyer du pertuis de chasse et sur la rive droite formant culées, le tout en maçonnerie de gros blocs granitiques au mortier de ciment ; on a exécuté d'abord les piliers, puis les arceaux latéraux, enfin l'arceau central formant clavage.

Le profil transversal du barrage présente une double courbure qui tend à augmenter l'appel à l'amont et atténue la vitesse à l'aval.



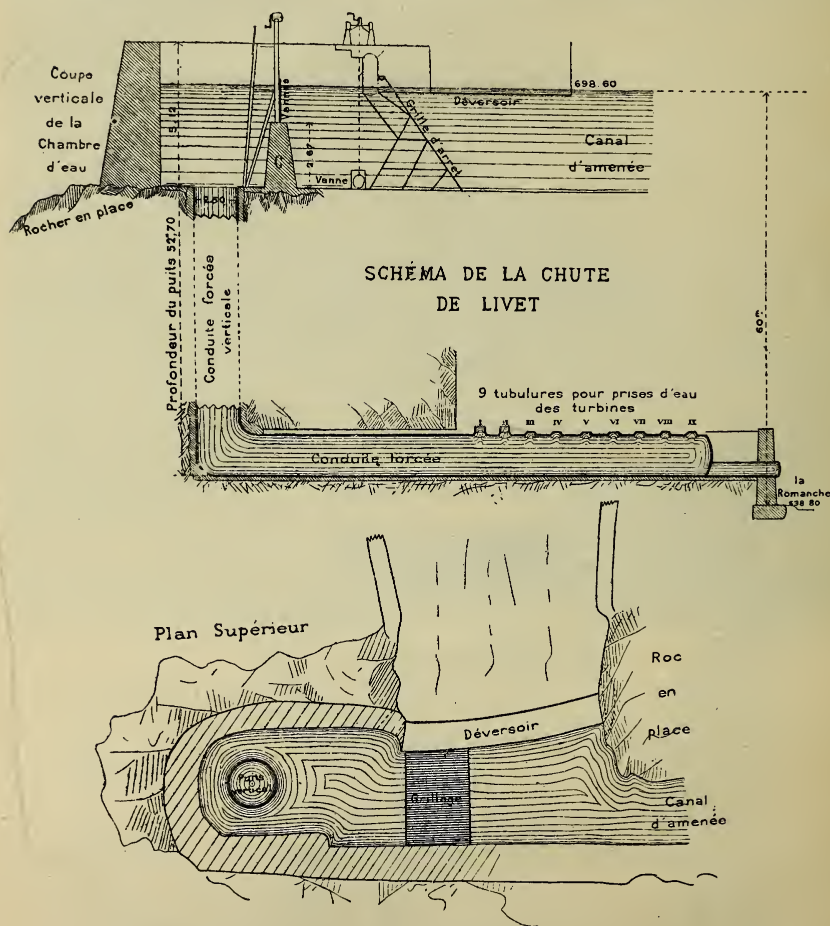




La chute se trouve ainsi amortie et les affouillements sont moins à craindre.

Une chambre d'eau placée entre le déversoir et la dérivation souterraine, opère une première décantation et régularise l'admission. Un vannage de garde la sépare du canal d'amenée.

Canal d'amenée. — Celui-ci, long d'environ 2.000 mètres, est creusé dans le rocher. C'est un souterrain à profil circulaire de



$3^{m},75$ de diamètre et 11 mètres carrés de section avec une pente de 15/10.000 donnant à l'eau une vitesse de 2 mètres par seconde.

Le canal passe sous plusieurs ravins ou couloirs d'avalanches et s'échappe ainsi à leur dangereux voisinage.

Il est entièrement revêtu en béton de ciment ; l'épaisseur de ce revêtement est de $0^m,25$ dans le rocher et de $0^m,60$ à $1^m,00$ dans les terrains meubles ; on a voulu ainsi éviter les pertes par infiltration dans les nombreuses failles du rocher (*schistes cristallins*).

Trois petits barrages obliques arrêtent dans le parcours le sable décanté et l'évacuent au moyen de tuyaux dans les anciennes lunettes d'attaque.

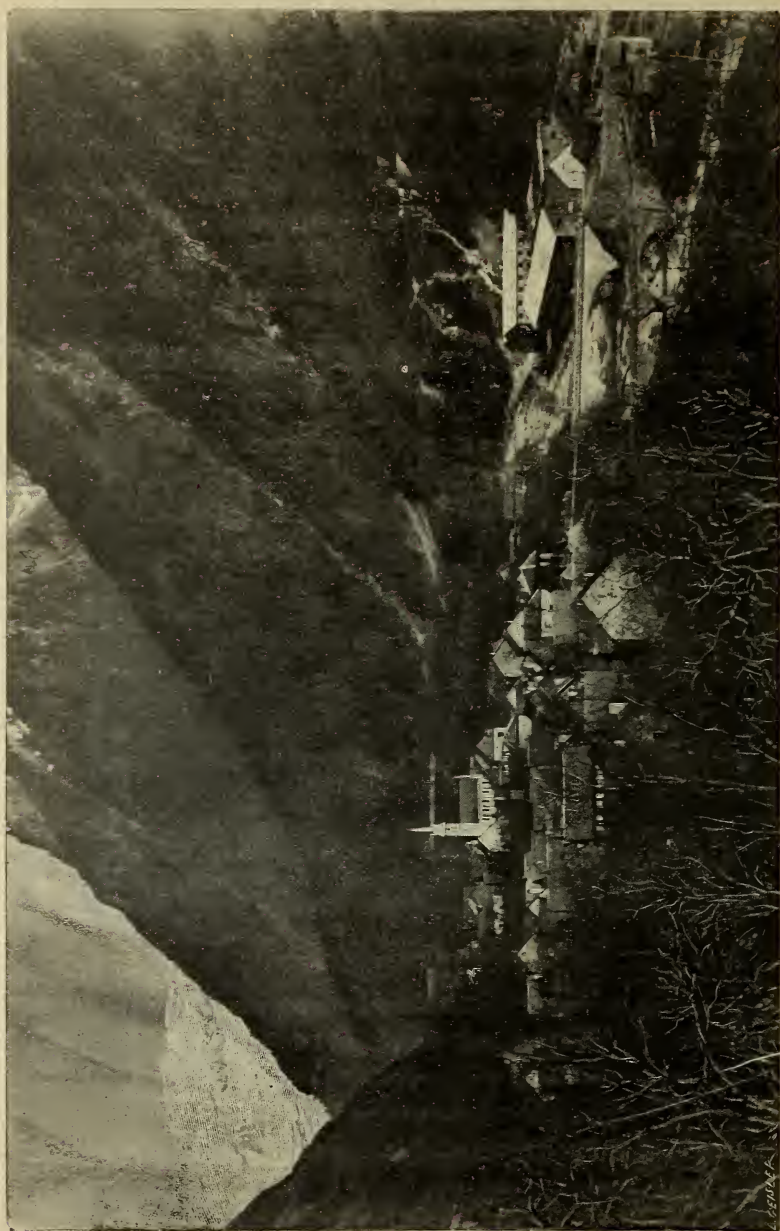
Chambre d'eau. — Cet ouvrage, établi dans le rocher, domine l'usine de 60 mètres. Il est divisé en deux parties :



Chambre d'eau (Livet).

La première, armée de deux vannes de chasse et d'une grille d'arrêt pour feuilles et corps flottants, sert de bassin de décantation. Elle est surmontée d'un réservoir rejetant à la Romanche les excédents d'eau non consommés par les turbines.

La seconde partie, où l'eau pénètre par déversement sur la cloison qui la sépare de la première, forme la chambre d'eau proprement dite. Elle est commandée par trois vannes verticales au-dessus de cette cloison. C'est du sol de cette chambre que part la con-



Livet et les Usines (à droite, au-dessus de l'usine, la chambre d'eau et son déversoir).

duite forcée en forme de puits vertical de $2^m,50$ de diamètre intérieur.

Cette disposition dispense des ventouses ou reniflards nécessaires sur les conduites fermées à leur sommet, puisque l'intérieur de la conduite reste en communication complète avec l'atmosphère par son orifice supérieur et qu'aucun effet de vide ne peut dès lors s'y produire même en cas de vidange brusque accidentelle de la colonne liquide.

Conduite forcée. — Cette conduite, au lieu d'être aérienne, est placée dans un puits vertical et ensuite dans une galerie souterraine inférieure ; elle se trouve ainsi complètement soustraite aux chutes possibles de rochers et l'on n'a pas à craindre par exemple qu'une pierre tombant sur le cylindre métallique rempli de liquide incompressible ne le perfore comme un emporte-pièce. C'est là un avantage sérieux, dans une situation comme celle de Livet et l'on ne peut que féliciter l'auteur de cette conception très pratique.

La conduite forcée est en acier doux, le métal n'y éprouve pas d'efforts supérieurs à 4 kilos par millimètre carré. Son épaisseur varie de 5 à 15 millimètres: son diamètre est de $2^m,50$. L'intervalle entre le tuyau et le rocher encaissant (*granit compact*) a été bourré en béton de ciment.

Cette conduite peut donner de 9 à 10.000 H P sur l'arbre des turbines, suivant la vitesse d'écoulement.

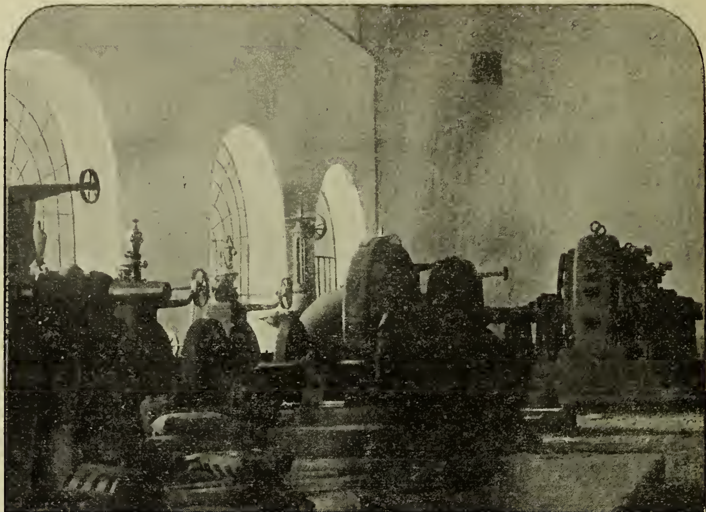
Les prises d'eau des moteurs sont au nombre de neuf, elles sont ménagées sur la partie horizontale qui longe l'usine.

Un autoclave, une vanne de chasse et un tuyau de vidange permettent d'évacuer les sables et de vider complètement la conduite, de la visiter et de la nettoyer. Enfin, un manomètre enregistreur indique à tout instant la pression intérieure.

Turbines. — L'usine dispose d'une puissance de 9.000 à 10.000 H P, qui pourra être portée jusqu'à 15.000 H P avec un débit de 25 mètres cubes, lorsque la nécessité s'en fera sentir. On compte monter alors une seconde conduite pareille à la première. Pour le moment, l'usine possède cinq unités de 1.250 H P chacune, pour

les fours électriques et deux groupes de 175 H P pour excitation, éclairage et moteurs divers.

Les turbines de 1.250 H P (*Neyret et Brenier*) sont du type centripète avec aspiration et débit constant ; les turbines de 175 H P (*mêmes constructeurs*) sont du type Girard, à libre déviation et débit variable avec un tiroir sur le distributeur.



Usine de Livet. — Salle des machines.

Tous les axes sont horizontaux, ils tournent, ceux des grands moteurs à 350 tours et ceux des petits à 500 tours par minute.

Chaque grande unité est munie d'un régulateur automatique à servo-moteur hydraulique (*Neyret et Brenier*) qui commande la valve d'admission d'eau et limite la durée des emballements possibles ; les régulateurs des petites sont des appareils très sensibles à action rapide, assurant une vitesse constante.

Les rendements garantis sont de 80 °/₀ pour les grandes turbines et de 75 °/₀ pour les petites.

Les cinq grandes turbines commandent chacune par joints élastiques un alternateur Thury à induit fixe et inducteur tournant donnant du courant monophasé à 70 volts (fréquence de 46,6 périodes ; cos $\varphi = 0{,}80$) à la vitesse de 350 tours.

Les inducteurs sont à 16 pôles.

Ces alternateurs peuvent supporter un emballement de 750 tours.

Leur rendement garanti est de 92 %.

Les excitatrices Thury à double collecteur donnent du courant à 70 volts.

Les collecteurs de l'une d'elles peuvent être couplés en série pour l'éclairage ou la desserte des moteurs des services annexes.



Usine de Livet.— Vue générale des usines et de la cascade.

Canal de fuite. — Le canal de fuite passe sous l'usine, il maintient l'aspiration des turbines au moyen d'un petit barrage de retenue et sert en outre à évacuer les gaz et les poussières grâce à une batterie de pulvérisation, à un aspirateur de gaz et à deux vannes flottantes qui interceptent les issues, sans gêner l'écoulement.

Le collecteur de pulvérisation des poussières est formé d'une cheminée descendante desservant les fours. L'aspiration électrique des gaz est placée à l'extrémité d'une petite cheminée qui s'élève non loin de l'extrémité du canal de fuite.

Les établissements industriels comportent, outre le bâtiment des machines (*12 mètres de largeur):*

1° Un bâtiment de $70^m \times 22^m$ pour silos, salle de broyage, ateliers d'entretien et réparations, abri couvert pour voies ferrées ;

2° Une salle de fours ($50^m \times 15^m$) adjacente à la salle des machines ;

3° Enfin, un bâtiment ($105^m \times 15^m$) où les produits fabriqués seront refroidis, concassés, emballés et emmagasinés.

Une voie ferrée longe ce bâtiment et le relie à la ligne de Vizille au Bourg d'Oisans.

Tous les services intérieurs seront desservis par voies et wagonnets, et la disposition des bâtiments est conçue en vue d'un cycle continu et méthodique, sans contre-marche ni fausse manœuvre : *arrivée des matières premières, broyage, cuisson, refroidissements, concassage, emballage, dépôt et expédition.*

L'usine de Livet, créée spécialement en vue d'utiliser sur place une partie importante de sa puissance en opérations électro-chimiques ou métallurgiques, pourra sans doute aussi fournir des locations de forces motrices à distance, car elle disposera en hiver d'un minimum de puissance d'au moins 4.000 ou 5.000 chevaux et d'un total trois ou quatre fois supérieur pendant les mois d'été.

La Société électro-chimique de la Romanche, qui achève en ce moment le montage de cette belle installation, trouvera certainement sans peine d'avantageux emplois de sa puissance.

Les travaux touchent à leur fin ; ils se distinguent par les dispositions originales que nous venons d'esquisser : chambres de décantations multiples, colonne en tunnel vertical dans le rocher, barrage clavé en voûte avec profil à double courbure, emploi général de bétons armés, etc..., toutes dispositions bien appropriées à la situation de l'usine et qui font le plus grand honneur à la compétence de M. Drouhin, directeur général, qui a bien voulu nous recevoir à l'usine et nous fournir gracieusement les éléments de cette étude.

Nous nous en tiendrons à cet aperçu très sommaire concernant la vallée de la Romanche.

La visite en sera sans doute plus intéressante encore dans quelques mois lorsque les principaux travaux en cours d'exécution seront achevés et que le placement de la force sera réalisé. Il n'en est pas moins utile et instructif de constater quels puissants réservoirs d'énergie l'industrie peut trouver dans les cours d'eau comme la Romanche dont les Alpes possèdent encore un assez grand nombre de types.

Forces hydrauliques du Drac.

Le Drac est un puissant réservoir d'énergie susceptible de donner dans le seul département de l'Isère environ 100.000 chevaux. On y aménage en ce moment deux importantes chutes et il est probable que d'autres suivront avant peu.

IX. — Usine d'Avignonet.

La première des grandes usines hydro-électriques que l'on construit actuellement sur le Drac est celle d'Avignonet (*) appartenant à la **Société Grenobloise de force et lumière** (**) à 30 kilomètres en amont de Grenoble.

En ce point, le Drac coule au fond d'une gorge sauvage, profondément encaissée dans les schistes liasiques à l'altitude de 400 mètres, sa pente est de 7 mètres par kilomètre, il débite en basses eaux 20 mètres cubes (exceptionnellement 17 ou 18), en eaux moyennes 35 et plus de 1.200 mètres cubes dans les crues qui se produisent au printemps, par la fonte des neiges dans les Hautes-Alpes et à l'automne, lors des grandes pluies. Son régime est éminemment torrentiel, il charrie d'énormes quantités de ma-

---

(*) L'usine n'a pas encore reçu son nom définitif, nous la désignons ici par celui de la commune riveraine du Drac en cette région (Avignonet).

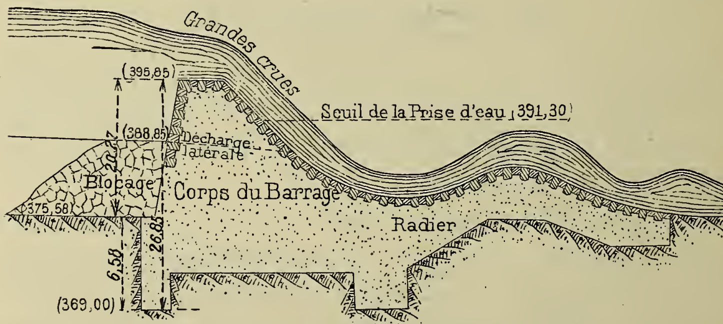
(**) Société au capital de 5.000.000 de francs, filiale de la **Société franco-suisse.**

tériaux de toutes dimensions jusqu'à de véritables blocs. Les crues sont fréquentes et brusques.

Dans ces conditions, l'aménagement d'une grande chute présentait des difficultés exceptionnelles qui vont être résolues avec une véritable audace et, on peut l'espérer, avec un succès complet.

Après des études minutieuses, l'on s'est arrêté à l'idée d'un barrage fixe de 20 mètres de hauteur au-dessus du fond du lit (près de 27 mètres avec les fondations) et à un canal de dérivation en souterrain dans la paroi rocheuse de la rive gauche.

Le barrage présente d'ingénieuses dispositions motivées par l'état des lieux et le régime torrentiel du cours d'eau. Tout le corps de l'ouvrage est en béton au mortier de ciment de la Porte de France (200 à 300 kg. de ciment par mètre cube de béton), les surfaces découvertes seules sont protégées par un revêtement appareillé en moellons tétués de fortes dimensions ; l'épaisseur est de 4m,75 au sommet et de 24 mètres à la base. Pendant les grandes crues, le barrage fonctionne en déversoir.



Barrage du Drac, à Avignonet.

Un massif d'enrochements serrés contre le parement d'amont du barrage le protègera contre les affouillements de ce côté.

Un massif du même genre protègera également l'autre extrémité.

Le radier se relève vers l'aval en forme de doucine pour ren-

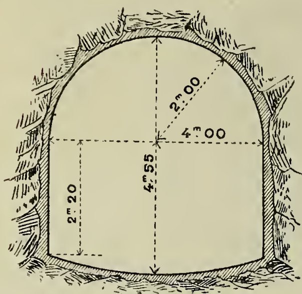


Barrage du Drac à Avignonet. — Ensemble du chantier pendant la construction du barrage, août 1901. — Vue prise d'aval.
(La prise d'eau se fera à peu près au niveau de la passerelle. A droite de la figure, on voit le débouché du tunnel de dérivation provisoire).

voyer les eaux dans une direction parallèle à l'écoulement final et diminuer les effets d'affouillement sur le lit aux abords de l'ouvrage.

Un pertuis de décharge, ménagé sur le côté gauche et muni d'une vanne de garde ($9^m \times 7^m$) assure l'évacuation des galets et prévient l'invasion du canal d'amenée dont le seuil est supérieur d'environ $2^m,50$ au radier du pertuis.

Ce canal, long de 840 mètres, présente une pente de 1/1000, il peut débiter jusqu'à 39 mètres cubes. Percé en souterrain dans le rocher, afin d'échapper aux éboulements inévitables sur des parois aussi escarpées, il offre la section transversale que voici :



Les parois sont revêtues d'un enduit au mortier de ciment lissé.

Un déversoir régulateur, long de 65 mètres, ménagé à l'intérieur du tunnel, renvoie au Drac le trop-plein du débit.

A l'extrémité du canal est disposée une chambre d'eau d'où partiront les conduites en tôle ($2^m,20$ de diamètre) desservant les moteurs.

La chute nette sera de $23^m,50$ en basses eaux et de $18^m,50$ en hautes eaux et la puissance de l'usine variera de 4.000 à 7.500 chevaux.

L'organisation du chantier intéresse par une foule de solutions hardies et originales : placés à l'étroit, sur un torrent redoutable, au fond d'une gorge à pic, loin de tout village et de toute ressource, les constructeurs ont dû recourir à des moyens peu communs :

Il a fallu d'abord créer des sentiers d'accès pour les études, des cantines et des logements pour le personnel ; le transport des matériaux était fort compliqué car le seul sentier qui relie la gorge du Drac à l'établissement thermal de la Motte et au chemin de fer de la Mure, est un chemin muletier à pente raide et non carrossable ; quelques essais de transport sur ce chemin au début des tra-

vaux sont revenus à 40 francs la tonne (*). On a donc cherché autre chose et l'on a pensé que le meilleur moyen d'en sortir serait d'installer un câble transporteur entre le fond de la gorge et un



Gorge du Drac, près Avignonet. (A gauche, le chemin de fer de la Mure).

point du chemin de fer de la Mure (Gravaison) où l'on ferait une amorce d'embranchement. C'est ce qui a été réalisé : le câble rachète une différence d'altitude de 300 mètres, il permet de faire descendre au chantier tous les objets nécessaires, sauf les très grosses pièces ; grâce à ce moyen, le mètre cube de sable, par exemple, pris à Saint-Georges de Commiers (**) amené en chemin de fer jusqu'à l'embranchement de Gravaison et descendu de là par le câble, ne revient guère qu'à 7 francs ; il coûterait 7 ou 8 fois plus sans le secours du câble.

Le chantier est pourvu d'un certain nombre de moteurs pour épuisements, éclairage, etc..., la force nécessaire est empruntée au ruisseau de la Motte, simple filet d'eau où la Société a installé,

(*) Les induits des alternateurs posant plusieurs tonnes devront nécessairement descendre par le sentier de la Motte au prix de difficultés considérables.

(**) Le lit du Drac dans la gorge d'Avignonet ne fournit pas de sable en quantité appréciable, on doit l'aller prendre à 10 kilomètres en aval, le remonter par voie ferrée (14 kilomètres) jusqu'à Gravaison et le redescendre par le câble jusqu'au chantier.

au pied d'un pic de 150 mètres, une petite usine électrique de 100 chevaux. Les pompes actionnées par le courant (triphasé) donnent un excellent service.

Deux petites locomotives ont été amenées du chantier pour les transports entre le pied du câble et le barrage.

Celui-ci sera fondé à sec, en deux parties, dans des enceintes isolées du courant par des batardeaux en béton et enrochements, On avait d'abord ouvert dans le rocher de rive gauche, au niveau de la rivière, un tunnel de 80 mètres par lequel on a détourné le courant à l'aide de barrages volants provisoires; puis on a isolé entre deux batardeaux sur un peu plus de la moitié droite du lit, une enceinte étanche où l'on a concentré les pompes et opéré les fouilles. Au début l'on avait espéré atteindre le rocher qui plonge rapidement et fonder sur le solide en place, mais il a fallu y renoncer à cause de l'inclinaison trop brusque des bancs qui descendent à des profondeurs inaccessibles; on s'est donc borné à pousser la fouille à environ 8 mètres sous le fond du lit et l'on a fondé à ce niveau, en protégeant le corps de l'ouvrage par des parafouilles descendus encore 3 mètres plus bas et par des blocages d'enrochements jointifs qui pourront bien résister, toutefois l'expérience seule donnera à ces dispositions une sanction définitive. La moitié de gauche va être fondée de la même manière (*).

L'usine en construction sera pourvue de sept groupes de turbines avec leurs alternateurs, chaque unité réalisant une puissance de 1.750 chevaux.

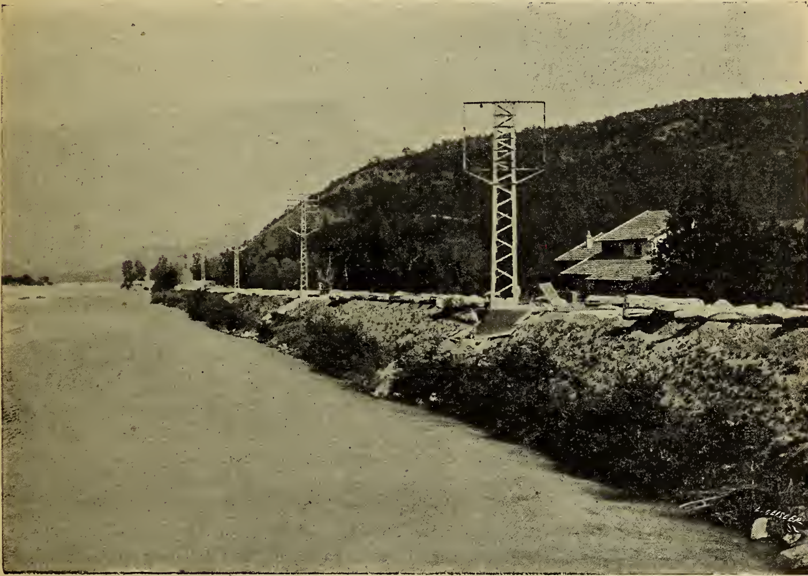
Les alternateurs (Ganz), construits par le Creusot, porteront leurs excitatrices et donneront du courant triphasé sous la tension immédiate de 26.000 volts, sans transformation ; ce sera, à notre connaissance, le premier exemple d'un pareil voltage obtenu à la sortie des génératrices.

L'énergie doit être transportée à de grandes distances, les clients déjà acquis à la Société sont la Compagnie des mines de la Mure qui doit actionner par l'électricité tout son outillage (**), une Com-

(*) Cette seconde moitié vient d'être fondée (octobre 1901).

(**) Cette Compagnie a cependant le combustible sur place et brûle des produits secondaires dans les foyers de ses générateurs à vapeur. Malgré cela, elle a reconnu à l'emploi

pagnie de tramways (*), enfin, divers industriels de Bourgoin ayant leurs établissements à 100 kilomètres de la station génératrice. Cette grande distance explique le voltage élevé auquel on s'est arrêté et dont nous ne connaissons encore aucun cas antérieur en France. On va voir que le même voltage est adopté à l'usine de Champ, en construction un peu plus bas sur le même cours d'eau.



Ligne à haute tension sur les digues de la Romanche en aval du pont de Champ.

La ligne de transport présente cette intéressante particularité que, sur un parcours d'environ 35 kilomètres (entre Champ et

de l'électricité de tels avantages, qu'elle n'a pas hésité à entreprendre la transformation complète de son matériel. La Compagnie des Mines de Marles (Pas-de-Calais) emploie depuis plusieurs années la traction électrique dans ses galeries. Les installations se multiplient à Blanzy, Decize, etc., et à l'étranger (Angleterre, Suède, Hongrie, etc.).

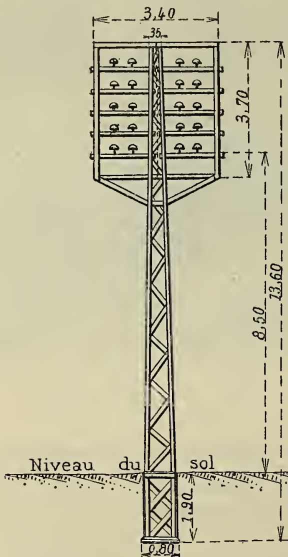
(*) Tramway de Grenoble au Villard-de-Lans, récemment concédé. D'autres Compagnies de tramways, voisines, étudient en ce moment la même organisation. La Société des voies ferrées du Dauphiné notamment se propose d'abandonner la traction à vapeur sur la ligne de Vizille au Bourg-d'Oisans et de la remplacer à **ses seuls frais** par la traction électrique en empruntant l'énergie (de 150 à 800 chevaux) au petit ruisseau de Laffrey dont on aménage en ce moment la chute en face du péage de Vizille (9 centimes le kilowatt-heure).

Moirans) les mêmes supports vont servir aux réseaux des deux Sociétés qui aménagent les usines d'Avignonet et de Champ.

Les poteaux, entièrement métalliques, portent à leur partie supérieure une cage de $3^{m},40 \times 3^{m},70$ pouvant recevoir 20 fils (*); pour le moment, on en monte seulement 15 (6 pour Champ et 9 pour Avignonet).

La Commission du Puy-de-Dôme a visité le chantier d'Avignonet le 22 mars 1901 et en a rapporté, avec le meilleur souvenir pour la gracieuse hospitalité qu'elle a reçue de M. Maurice, ingénieur de la Société franco-suisse, qui dirige avec compétence les travaux, l'impression d'une œuvre considérable poursuivie au milieu de

(*) Les fils de chaque Société occupent un côté de la cage ; ils se trouvent séparés du réseau parallèle voisin par un intervalle de $1^{m},50$ et par un grillage métallique formant écran.



(Intervalles entre deux poteaux consécutifs : 60 mètres).
Poteau métallique à 20 fils (par deux groupes de dix)

D'autre part, la ligne commune (Champ-Moirans) est divisée en trois tronçons aux extrémités desquels sont installés des postes de couplage munis d'interrupteurs, parafoudres à résistances liquides et connexions permettant de lancer le courant de l'une ou de l'autre usine sur l'un quelconque des groupes de trois fils. L'on pourra ainsi en cas de besoin et sans interrompre le service, mettre à la terre dans chaque réseau les fils de droite ou ceux de gauche et les réparer en sécurité à l'abri de l'écran séparatif

Les usines génératrices et les postes de couplage seront reliés par une ligne téléphonique séparée, établie (par les agents de l'Etat) sur des supports distincts de ceux des fils à haute tension. On évitera de la sorte les perturbations sur la ligne téléphonique dont le service se trouvera beaucoup plus sûr.

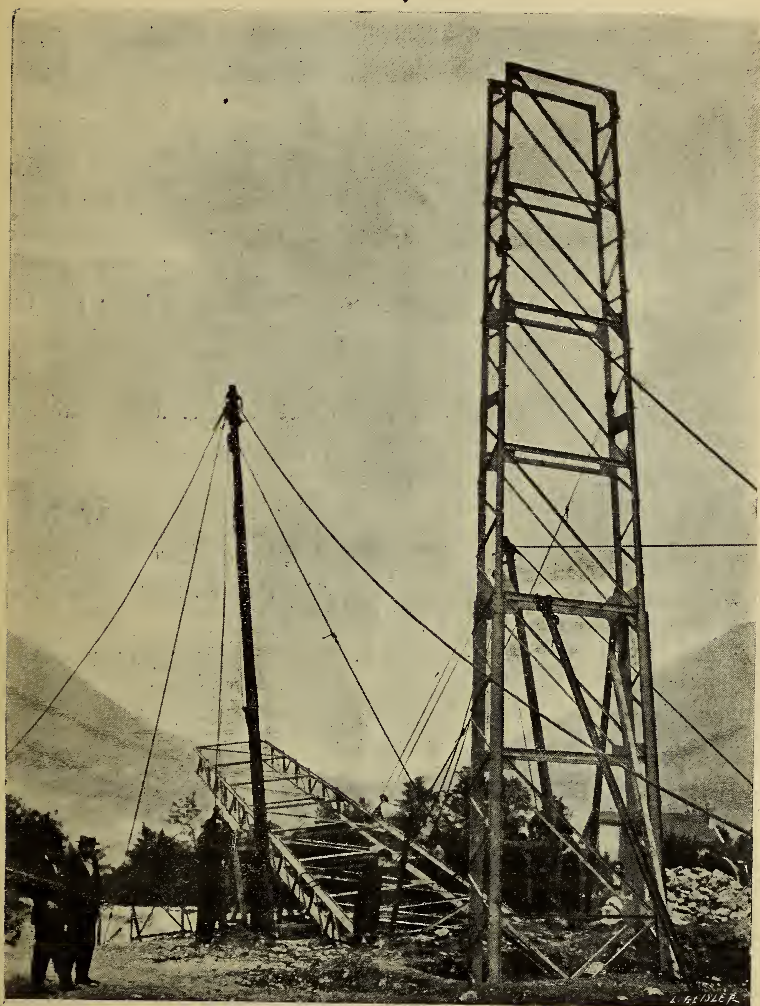
Les poteaux métalliques sont reliés électriquement entre eux et mis à la terre tous les kilomètres. Chacun coûtera, mis en place, environ cinq cents francs (500 fr.)

Nous mentionnerons encore les pylônes doubles à 12 fils pour traversée du Drac (200 mètres) ainsi que les passerelles métalliques pour traversée au-dessus des voies ferrées (P. L. M.).

Nous dirons enfin que les isolateurs d'un type spécial, ont été éprouvés à 62.000 volts 30 minutes chacun.

Nous tenons ces divers renseignements de l'obligeance de M. Heilmann, ingénieur de la Société Grenobloise de force et lumière, à qui nous adressons tous nos remerciements.

difficultés peu communes et l'espoir qu'un succès bien mérité récompensera bientôt tant d'efforts.



Pylônes pour traversée du Drac à Grenoble (au levage sur la rive droite).

X. — Usine de Champ.

L'installation dont il nous reste à parler présente des dispositions

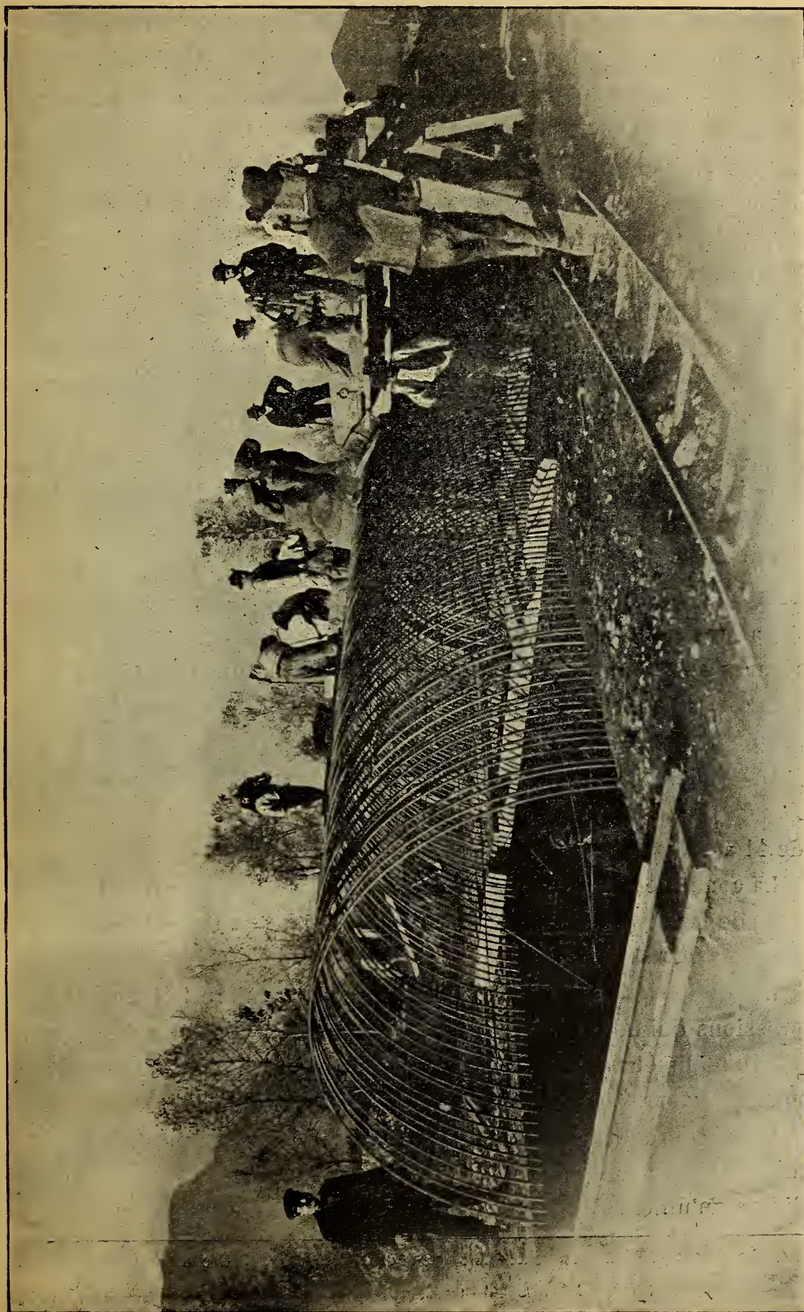
fort différentes de celles que nous avons vues jusqu'ici et qui n'en sont pas moins ingénieuses ni moins bien appropriées à leur but.

Dans les cas qui précèdent, nous avons vu soit des dérivations à flanc de coteau avec conduites forcées à leurs extrémités (le Giffre, Chèdde, Livet, Lancey, Chapareillan, etc.), soit de grands barrages (Chèvres, Avignonet). Ici, les lieux ne se prêtaient à aucun de ces types. Le Drac, à sa sortie des gorges d'Avignonet à Saint-Georges de Commiers, s'étale dans une vaste plaine où l'on ne pouvait pas établir une dérivation ordinaire à flanc de coteau ni un grand barrage transversal qui aurait dû avoir plusieurs kilomètres de développement, il a fallu chercher autre chose ; on s'est arrêté à une solution consistant à dériver l'eau du Drac par un barrage de faible hauteur et à l'amener à l'usine dans la plaine de Champ au moyen d'une conduite de grand diamètre placée au niveau de cette plaine, presque dans le lit de la rivière. Cette solution a l'avantage de réduire au minimum le barrage de retenue et les risques correspondants, elle offre donc une grande sécurité. D'autre part, elle oblige à réduire les pertes de charges par l'emploi d'une canalisation de grand diamètre comme aussi à prévenir les effets d'inertie de l'importante masse liquide en mouvement (*), qui seraient désastreux pour les conduites.

L'usine de Champ est aménagée par la « **Société hydro-électrique de Fure et Morge** », dont nous expliquerons plus loin l'organisation administrative et financière.

Le barrage se divise en deux parties : l'une fixe, l'autre mobile, réunies par une pile en béton fondée sur pilotis. La partie fixe comprendra un massif de béton reposant sur trois files de pieux, protégé par des enrochements ; la partie mobile, deux vannes de décharge de 8 mètres manœuvrés d'une passerelle supérieure insubmersible. La prise d'eau consiste en quinze vannes de $2^m \times 1^m,50$ à deux étages avec grillage de garde, donnant sur une chambre de décantation de 3.000 mètres carrés de superficie munie d'un déversoir régulateur. De cette chambre, où les eaux subiront une pre-

(*) La conduite forcée de l'usine de Champ a un diamètre de $3^m,30$, une longueur totale de 4.600 mètres et contiendra près de 40.000 mètres cubes d'eau animés d'une vitesse un peu supérieure à 2 mètres par seconde.



Conduite de Champ (Béton armé).

mière décantation, part un canal de 18 mètres, long de 600, capable de tenir une tranche d'eau de 2m,50 avec une pente longitudinale de 0m,35 par kilomètre et débouchant dans une deuxième chambre de décantation de 900 mètres carrés. Celle-ci est divisée en deux compartiments dont le premier ramènera au Drac les matières déposées par le moyen d'un vannage approprié. La cloison séparative des deux compartiments, surmontée d'une grille serrée, donnera accès à la canalisation en conduite forcée.

On voit que les constructeurs ont multiplié les moyens de décantation: vannages de décharge, large canal à ciel ouvert, grillages de garde, chambres successives, etc. C'est qu'en effet le Drac charrie, comme nous avons eu déjà l'occasion de le dire à propos du barrage d'Avignonet, d'énormes quantités de matériaux dont il est indispensable de se débarrasser avant l'entrée dans la conduite.

Celle-ci possède une longueur de 4.600 mètres dont 2.100 en **béton armé** et 2.500 en tôle d'acier.

La première partie (**béton armé**) fait face aux pressions inférieures à 20 mètres, elle est formée d'une armature métallique en fers ronds recouverte d'une garniture en béton de ciment épaisse de 0m,20 à 0m,25 (*).

Le diamètre des génératrices de l'armature (fers parallèles à l'axe), varie de 6 à 12 millimètres, celui des directrices circulaires de 11 à 22 1/2 millimètres.

La conduite repose sur un berceau en béton épais de 0m,30, disposé de façon que la conduite soit enterrée jusqu'à 0m,50 au-dessus de son axe.

La partie en tôle d'acier, à la suite de la première fait face aux pressions qui dépassent 20 mètres. L'épaisseur des tôles varie de 7 à 10 millimètres, elles ne travailleront pas à plus de 6 kilos par millimètre carré.

Le diamètre commun aux deux parties de la conduite est de trois mètres trente centimètres (3m,30). Pour en donner une idée, nous dirons qu'un cavalier peut aisément circuler à l'intérieur.

(*) Le ciment provient des usines Rossignol et Delamarche, à Grenoble. (Ciment du Rocher de Comboire).

Sur cette canalisation seront disposés en vue d'éviter les coups de bélier quatre tubes piézométriques en forme de cheminées hautes de 3, 6, 30 et 35 mètres dans lesquels l'eau pourra librement osciller et amortir sa force vive lors des variations de résistance des moteurs. Le schéma de la page suivant montre ces dispositions générales.

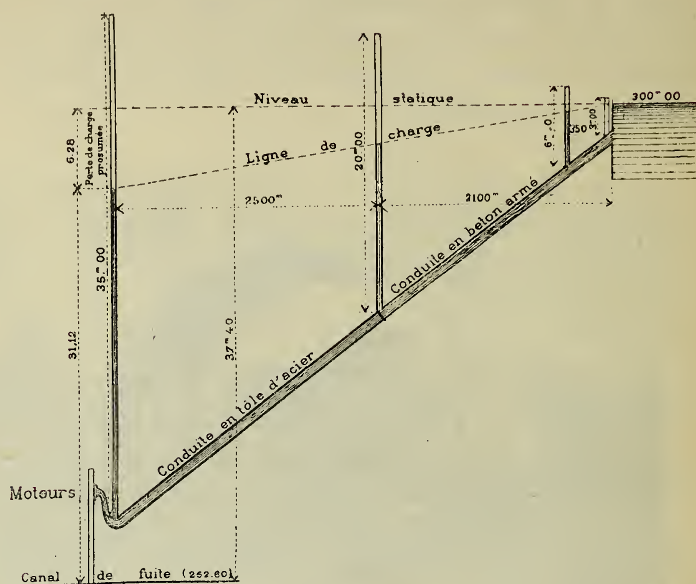


La hauteur brute de la chute entre la prise d'eau et le canal de fuite est de $37^{m},40$; on compte sur une perte de charge totale de $6^{m},28$ et sur une chute nette utilisable de $31^{m},12$, soit un chiffre rond 31 mètres.

L'usine, longue de 44 mètres et large de 12 pourra recevoir six groupes de moteurs composés chacun d'une turbine de 1.320 chevaux et d'un alternateur de 1.150 kilowatts tournant à 300 tours et donnant du courant triphasé à 50 périodes sous une tension de 3.000 volts. Quatre groupes suffiront pour le service normal, les autres serviront de réserves. L'usine aura en outre deux groupes excitateurs de 150 HP, un petit moteur de 5 HP pour la régulation, un pont roulant et une série de transformateurs de 1.150 kw.

Le courant sortant des alternateurs à 3.000 volts, passera aux

transformateurs qui l'élèveront à 26.000 puis, sera dirigé sur le tableau et de là sur la ligne.



Les alternateurs d'un rendement garanti à pleine charge de 94 °/₀, à induit fixe, inducteur tournant et arbre horizontal, seront réunis aux turbines par manchons élastiques Raffart. Tout le matériel électrique est demandé à la Maison Brown, Boveri.

La ligne principale (35 kilomètres, de Champ à Moirans) comprendra 6 fils de cuivre de 7 millimètres débitant chacun 44 ampères (densité du courant 1,15) avec une perte sur la ligne de 6 °/₀.

Cette ligne se prolongera jusqu'à Voiron et Rives à 3 fils (de 4 à 7 millimètres). Enfin les lignes secondaires à 3 ou 6 fils donneront une perte maxima de 5 °/₀. Les isolateurs des câbles primaires (26.000 v.) ont été spécialement étudiés par la maison Brown, Boveri, en vue de cette forte tension. Ils sont du type à double cloche en porcelaine parfaitement vitrifiée et également cuite en tous ses points, puis essayés à 78.000 volts.

Voici quel sera le rendement général de l'installation :

Puissance de la chute		7.000 H P.
Puissance sur l'arbre des turbines		$7.000 \times 0,76 = 5.320$ H P.
—	aux bornes des alternateurs	$5.320 \times 0,95 = 4.948$ —
—	à la sortie des transformateurs	$4.948 \times 0,97 = 4.800$ —
—	rendue à Moirans	$4.800 \times 0,94 = 4.512$ —
—	chez les abonnés	$4.512 \times 0,90 = 4.060$ —

soit 4.000 chevaux (*). La puissance utilisée sera donc finalement les 7/10 de la puissance hydraulique du cours d'eau après un transport à 50 kilomètres environ et une double transformation. C'est là un résultat digne d'attention et que l'on devra à l'emploi d'une tension exceptionnellement élevée.

Comme on l'a vu plus haut, la ligne de transport est disposée pour servir entre Champ et Moirans aux deux Sociétés propriétaires des chutes de Champ et d'Avignonet. C'est un exemple bien intéressant à retenir dans l'infinie variété des moyens mis en œuvre pour les installations électriques.

La **Société hydro-électrique de Fure et Morge** qui aménage la chute de Champ a été constituée au capital de 500.000 francs. Son programme comporte une dépense de 4 millions 1/2, qui est couverte par une ingénieuse combinaison des divers intéressés, jusqu'à concurrence de 3 millions et par une émission d'obligations à 5 % pour le surplus (1.500.000 francs).

Les prix de revient de l'unité de puissance sont les suivants :

1° Sur l'arbre des turbines, 545 francs par cheval ;

2° Chez les abonnés, 1.187 fr. 50 par cheval (de 736 watts).

Les contrats passés jusqu'à ce jour assurent pour 30 ans une livraison de 3,300 chevaux électriques ; le surplus sera certainement placé avant peu.

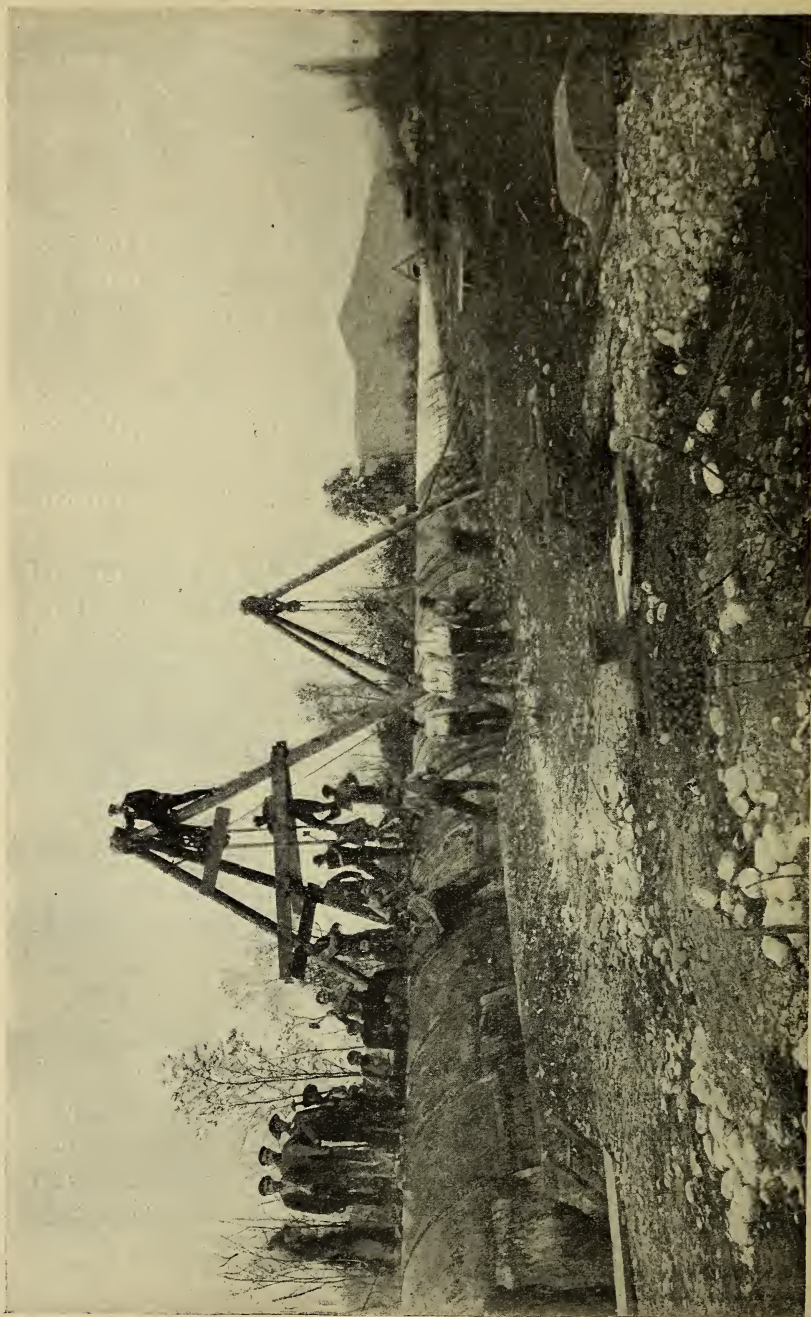
Les prix de location du cheval-an sont :

Pour le cheval de 12 heures par jour, 125 francs par an ;

Pour le cheval de 24 heures par jour, 150 francs par an.

Les abonnés qui ont pris les 3.300 chevaux déjà placés font partie d'une association syndicale qui englobe les principaux industriels de la région de Rives et Voiron, qui, à l'expiration des 30 années du contrat de location deviendra propriétaire de toute l'ins-

(*) Cela suppose seulement un facteur de puissance de 0.80. — En réalité il sera de 0.85 et le rendement un peu plus élevé.



Conduite de Champ (Tôle d'acier.)

tallation. La Société hydro-électrique de Fure et Morge n'a été constituée que pour organiser l'affaire; son capital sera amorti et elle disparaîtra au bout de 30 ans.

La recette annuelle actuellement assurée est de 475.000 fr., elle s'élèvera à environ 600.000 francs ; on compte que les divers capitaux engagés recevront une rémunération de 8 % et seront amortis au bout des 30 ans.

La force motrice sera livrée par quantités de 5 à 200 chevaux pour les usages les plus variés : tuileries, papeteries, scieries, imprimeries, tissages, menuiseries, serrureries, moulinages, etc..., etc... (*). On termine en ce moment la canalisation et l'on compte distribuer la force avant la fin de l'année courante (1901).

XI. — Conclusions générales de cette étude.

Il nous reste à tirer les conclusions de ce rapide examen des principales installations hydro-électriques de la région des Alpes et à voir, ensuite, s'il y a lieu d'en déduire, au point de vue spécial du Département du Puy-de-Dôme, quelque enseignement qui lui soit particulièrement applicable.

Comme nous l'avons dit au début de ce mémoire, le visiteur, même étranger aux questions de cet ordre, est tout d'abord frappé par la variété des moyens d'exécution. Cette variété a dû ressortir de notre exposé, nous l'espérons du moins.

A Jonage et à Chèvres, nous avons vu des puissances de 12.000 à 20.000 chevaux obtenues avec des chutes faibles (quelques mètres) par la mise en jeu de grands débits ; c'est la solution des grands fleuves.

A Chapareillan et à Lancey, nous avons vu l'inverse : de faibles débits capables de grandes puissances, grâce à des chutes de 500 à 600 mètres; c'est la solution des ruisseaux de montagnes.

(*) Tous les renseignements relatifs à l'installation hydro-électrique de Champ nous ont été gracieusement fournis par M. Lépine, directeur général de la Société de Fure et Morge, avec une obligeance inépuisable.

Dans les vallées du Giffre, du Bréda et de la Romanche, on dispose de moyens moins extrêmes : débits relativement modérés et chutes d'importance moyenne produisant encore par une judicieuse compensation, des puissances du même ordre.

Sur le Drac, à Avignonet, un grand barrage réalise, presque sur place, une chute de 20 à 25 mètres ; à Champ, sur le même cours d'eau, une longue canalisation courant dans une plaine sans relief, y réalise une chute de 37 mètres, presque sans retenue ni refoulement.

Les conduites forcées en tôle interviennent partout et toujours avec succès, elles sont posées sur les pentes sans dispositifs spéciaux compliqués et se plient aux profils les plus accidentés, leurs diamètres variant de $0^m,30$ à plus de 3 mètres ; leurs épaisseurs de 5 à 12 millimètres ; on atténue facilement les coups de bélier dans ces énormes colonnes liquides par des orifices ouverts à leur base, les tubes piézométriques comme à Champ peuvent aussi servir quand la pente n'est pas trop rapide : on prévient les effets de la pression atmosphérique, en cas de vidange brusque accidentelle, par des ventouses ou prises d'air au sommet des colonnes, en un mot, rien n'est laissé à l'imprévu et le fonctionnement de ces hautes canalisations est maintenant aussi simple et plus sûr que celui des biefs rudimentaires des antiques moulins.

Les transports à distance s'allongent de plus en plus : il y a dix ans on trouvait à 20 ou 30 kilomètres la limite des rendements acceptables, aujourd'hui, avec les tensions de 20.000 ou 25.000 volts, on aborde 100 kilomètres, cette limite est déjà dépassée (*), elle le sera partout demain, ce n'est pas douteux.

La combinaison des lignes communes à plusieurs distributions, dont nous avons vu un intéressant exemple pour les transports du Drac à Fure et à Bourgoin, facilitera souvent ces longs et coûteux parcours. La **variété des moyens** tel est donc le premier caractère des usines hydro-électriques.

Le visiteur n'est pas moins frappé de la **multiplicité des em-**

(*) Transmissions à 110 kilomètres d'Ogden à Salt-Lake-City (Etats-Unis), sous 25.000 volts, d'Oackland (156 kilomètres), San-Francisco (177 kilomètres), los Angelès (145 kilomètres), Blondel. Op. cit.

plois de l'énergie sous sa forme électrique qui en constitue incontestablement le mode le plus maniable et le plus souple :

A Chèvres, à Lancey, à Rioupéroux, nous voyons groupés, autour des usines génératrices des tramways électriques, des fabrications de carbure, de soude, de parfums, du blanchiment, toutes les formes de l'éclairage industriel, urbain et rural, tous les engins mécaniques de la papeterie, etc. ;

Dans les vallées du Giffre, de l'Arve, de l'Isère, de l'Arc et de la Romanche, l'électro-chimie sous toutes ses formes, carbure, sodium, aluminium (*), chlorates, etc., la traction de tramways (Chapareillan) et de chemins de fer (Chamonix) et l'éclairage ;

Dans la vallée du Drac, les transports à distance sous fortes tensions et pour tous les usages.

Mais cette liste est encore bien incomplète, il faudrait y ajouter beaucoup ; nous citerons au hasard le raffinage électrolytique des métaux à Bellegarde et à Pont de Chéruy (Isère), le carborundum (**) à la Bathie (Savoie), l'outillage électrique des mines à la Mure, etc... On peut affirmer sans risque d'erreur qu'il n'y a pas une industrie employant de l'énergie sous une forme et un degré quelconques qui ne puisse être pleinement et parfaitement servie au moyen d'une force hydraulique convenablement aménagée. L'agriculture n'échappera pas à cette loi. M. Blondel signalait en 1898 (***) le labourage électrique expérimenté dès 1879 à Sermaize et qui a permis à Halle de défoncer à $0^{m},24$ de profondeur, à raison de 25 ou 26 francs l'hectare. La petite culture, il est vrai, n'a pas encore demandé à la forme électrique de l'énergie la puissance qu'elle tire surtout des moteurs animés, mais elle lui demande déjà volontiers la lumière partout où elle trouve à sa portée une source génératrice. A cet égard, aucun exemple n'est

(*) L'aluminium valait 100 francs et plus le kilo il y a 20 ans. En 1889 le procédé Héroult (Electrolyse du fluorure d'aluminium en présence de l'alumine dans un bain de cryolithe fondue), appliqué à Froges (Isère) et à Neuhausen (Suisse), fit rapidement tomber le prix au 1/10 de ce chiffre. Aujourd'hui l'aluminium fabriqué à la Praz (Savoie), ne vaut plus que 2 fr. à 2 fr. 50 le kilo.

(**) Composé de carbone et de silicium d'une extrême dureté, fabriqué dans le four électrique et remplaçant l'émeri et le diamant dans la taille des pierres dures.

(***) Op. cit.

plus instructif que celui de la vallée de Graisivaudan où les moindres villages et jusqu'aux fermes isolées reçoivent leur éclairage des chutes d'eau de Pontcharra, Chapareillan, Froges, Domène, Lumbin, Lancey, Sassenage, etc., etc., à des prix qui justifient largement cette préférence.

Nous ne pouvons donc que nous associer de tous points aux conclusions de M. Blondel, quand il fait ressortir en terminant sa note si intéressante sur les transmissions électriques d'énergie, leur rôle éminemment social et moralisateur, les bienfaits d'une distribution à domicile de la force motrice, qui a rendu la vie de famille à tant de petits ménages ouvriers dans les vallées du Jura et de la Suisse, qui assure au travail à domicile l'indépendance, la lumière et l'hygiène qui lui manquent souvent dans les grandes agglomérations, et qui laisse à l'ouvrier chez lui l'air pur de la campagne au lieu de l'atmosphère enfumée des fabriques et des villes.

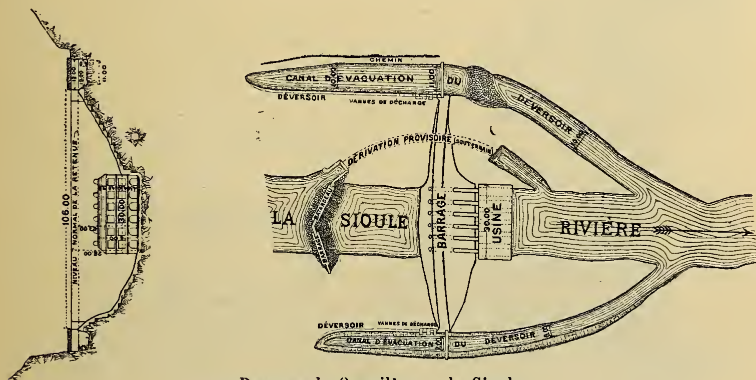
Ce sont là des avantages qui ne se mesurent point par des chiffres, mais qui n'en sont pas moins réels et qu'il convient de ne pas perdre de vue, lorsqu'on veut apprécier sainement tout le parti qu'offre l'utilisation des chutes hydrauliques placées à notre portée.

XII. — Application au département du Puy-de-Dôme.

Nous devons maintenant nous demander si le département du Puy-de-Dôme offre, sous ce rapport, des ressources dignes d'attention et qui vaillent la peine d'être mises en valeur. Au premier abord, on ne peut se défendre d'en douter quand on compare les modestes cours d'eau et les reliefs relativement faibles du pays aux puissantes rivières et aux grandes chutes des Alpes. Tandis, en effet, que le Rhône débite toujours 120 mètres cubes à Chèvres et 170 à Jonage, le Drac 17 ou 18 mètres cubes à Avignonet, l'Allier n'en garde guère que sept pendant l'étiage (*) la Sioule cinq

(*) Jaugeage du 9 septembre 1875, exécuté à Mirefleurs, par M. l'Ingénieur Lordereau. Dans cette région, la pente de l'Allier est d'environ $1^{m},50$ par kilomètre.

à Châteauneuf, la Dore deux à Olliergues. Tandis que l'on a pu réaliser des chutes de 500 et 600 mètres à Lancey et à Chapareillan, on ne trouve dans le Puy-de-Dôme que peu de chutes supérieures à 100 mètres, et encore seulement sur des ruisseaux dont le débit devient très faible en été. Ce sont là des conditions assurément peu favorables si on les compare à celles du Dauphiné et de la Savoie. Mais, sans prétendre rivaliser, même de loin, avec le pays de la houille blanche, il n'en est pas moins possible de trouver ici des forces encore très présentables.



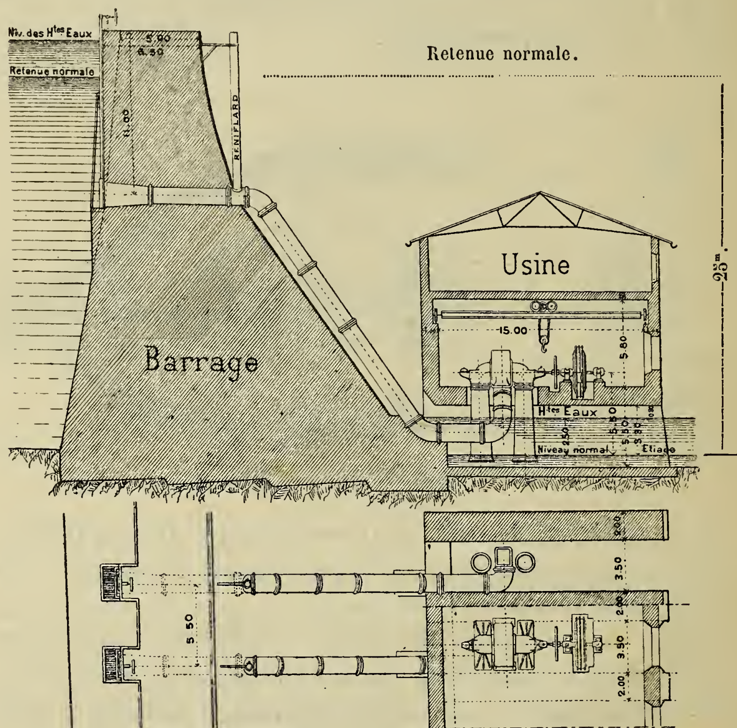
Barrage de Queuille sur la Sioule.

Nous avons fait connaître au Conseil Général (18 août 1899) une série de chutes encore à peu près entièrement disponibles, d'une puissance de 10.000 à 11.000 chevaux. Il en existe d'autres, par exemple, sur la Sioule, celle (2.000 à 5.000 H P) qui vient d'être acquise par la Compagnie du gaz de Clermont et qui va être incessamment aménagée suivant des dispositions analogues, toutes proportions gardées, à celles de la chute du Drac, à Avignonet.

On trouve sur la Dore, sur les Couzes, sur la Dordogne et leurs principaux affluents, un certain nombre de chutes parfaitement comparables comme puissances à celle du Giffre et de Pontcharra-sur-Bréda, et utilisables par les mêmes moyens. En ce moment même, divers industriels étudient certaines installations sur la Dore. Les plus avantageuses seront bientôt occupées et utilisées.

Enfin, rien n'empêcherait d'aménager l'Allier, entre Coudes et

Dallet, comme le Drac dans la plaine de Champ, sans grandes retenues et par la simple utilisation de la pente en conduite fermée. Il serait facile de multiplier les exemples et de montrer que les ressources hydrauliques du Puy-de-Dôme, quoique fort inférieures à celles des massifs alpins, sont encore très dignes d'attention, qu'elles sont utilisables par les mêmes moyens et qu'elles peuvent parfaitement trouver leur emploi pour le bien du pays.



Coupe du barrage de Queuille en construction sur la Sioule.

Sans doute il ne faut pas se flatter que cet emploi puisse être immédiat sur tous les points, l'esprit d'initiative dans la région n'est pas assez développé pour y prétendre mais, si les pouvoirs publics veulent bien seconder le mouvement qui se dessine, si les hommes capables d'éclairer l'opinion (*) veulent bien ouvrir les

(*) A ce point de vue, la Commission des chemins de fer du Conseil général du Puy-

yeux de leurs concitoyens, sur les ressources qu'offre le pays, les emplois ne tarderont pas à surgir, là même où l'esprit d'initiative paraît le moins avancé. Ne semblait-il pas que la région lointaine et déserte des gorges de Queuille dût être la dernière à profiter de l'éclairage et de la force à bon marché? Et, cependant, c'est là que va se réaliser, en Auvergne, le premier exemple d'une installation hydro-électrique de proportions sérieuses qui apportera au pays la lumière et l'aisance. — « *N'est-il pas juste, en effet,* comme le dit M. Bergès (*) dont le nom revient toujours quand il s'agit de houille blanche, *que les montagnes qui, depuis l'origine du monde habitable, engraissent les plaines, bénéficient à leur tour de leurs propres richesses ?*

Souhaitons que cet exemple soit suivi et que l'essor parti des Alpes françaises s'étende bientôt au reste du pays, en particulier au plateau central de la France, qui possède, lui aussi, d'abondantes réserves de forces hydrauliques (**).

S'il en était ainsi, peut-être ne serait-il pas téméraire d'y voir le gage d'un changement profond dans l'économie générale du monde et d'un déplacement de la suprématie industrielle si longtemps dévolue aux pays grands producteurs de houille noire. — La France a plus de richesses hydrauliques que l'Angleterre. Qu'elle sache les mettre en valeur ! C'est une mine qui ne craint ni les grèves ni le grisou; une mine qui ne s'épuisera pas et dont les millions de chevaux alimenteront toujours ses chemins de fer et ses industries, son éclairage et ses cultures quand les houillères de Newcastle et du pays de Galles auront depuis longtemps donné leurs derniers charbons.

Clermont-Ferrand, le 25 mai 1901.

---

de-Dôme et la Chambre de Commerce de Clermont viennent de donner un exemple qui portera sans doute d'heureux fruits, en envoyant une mission aux Alpes; exemple d'ailleurs désintéressé, puisque la mission a été purement volontaire et que ses Membres en ont personnellement fait tous les frais.

(*) *La Houille Blanche*, par A. Bergès. — Imprimerie V. Truc, Grenoble 1900.

(**) Le bassin de la Loire est déjà l'objet d'aménagements hydrauliques importants (barrages de Saint-Victor, du Lignon, etc.). A l'autre extrémité du plateau central, les affluents de la Dordogne offrent aussi de sérieuses ressources. On a déjà aménagé sur la Vozère, l'une des plus belles chutes de cette région (hauteur 43^{m}) dont l'énergie (actuellement 1800 H P) est transmise à Limoges (80 kilomètres de distance) par courants triphasés à 20.000 volts.

TABLE DES MATIÈRES

GRENOBLE. - IMPRIMERIE GÉNÉRALE

490
500
44
146
264
88
490
60
88
494

2649
2647
18829
10588
15882
15884
105845596
73066609
2,646
2,646
15876
10584
15876
5292
6999916

266
266
1596
1596
532
70756

300"

21 | 19 | 7 √7" = 2,6465

2.8
2.8
224
56
784

2.5
2.5
125
50
625

2.7
2.7
189
54
729

